



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A  
DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND  
COMPONENTS

## VÝVOJ CEMENTOVÝCH STĚREK VYŠŠÍCH UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ

DEVELOPMENT OF CEMENTITIOUS SCREEDS OF HIGHER USE PROPERTIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. Romana Kardošová

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. RUDOLF HELA, CSc.

BRNO 2017



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Romana Kardošová
<b>Název</b>	Vývoj cementových stěrek vyšších užitných vlastností
<b>Vedoucí práce</b>	prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

## PODKLADY A LITERATURA

Odborné zahraniční i tuzemské časopisy, sborníky z odborných symposií a konferencí, internetové zdroje odborných publikací z daného oboru.

Diplomové práce vypracované na ÚTHD FAST Brno v období 2012 – 2016

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V souvislosti s rozvojem pohledových betonů roste požadavek i na dodatečné úpravy betonových povrchů, ať už z hlediska maskování nekvality či záměrného snížení pracnosti při přípravě bednění a technologie pro provádění pohledových betonů.

Cílem práce bude připravit sérii receptur polymery modifikovaných stěrek, variantním řešením budou stěrky barevné a stěrky s fotokatalyticky aktivním materiálem. Použity budou anorganické pigmenty a jejich odstínové kombinace, i s možností dosažení efektu barevného žíhání. Dále bude nutno prověřit možnost aplikace práškové fotokatalyzátorů, jako alternativy pro zefektivnění a zlevnění realizace fotoaktivních betonových konstrukcí. V posledním kroku budou aplikovány a hodnoceny uzavírací transparentní nátěry pro barevné stěrky, s cílem pozdvihnout sytost odstínu a zlepšit trvanlivost.

Budou zváženy i možnosti nanášení s ohledem na schůdnost v praxi a úpravy reliéfu ve fázi tuhnutí (i zpožděného) – obtisky vzorů (vymývání). U všech vyhotovených receptur bude nutno ověřit přidržnost k povrchu betonů odolnost proti působení mrazu a vody a trvanlivost proti působení UV záření.

Rozsah min. 70 stran

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

## ABSTRAKT

Cílem této práce je shrnout a posoudit vlastnosti polymery modifikovaných cementových stěrek, jejich trvanlivost a možnost povrchových úprav. V poslední době se zvyšují požadavky na dodatečné úpravy povrchu pohledových betonů a aplikace cementových stěrek může zrychlit a zjednodušit realizaci pohledových betonů. Polymery modifikované cementové stěrky s přidavkem práškových fotokatalyzátorů mohou podstatně zlevnit a tím pádem i zvýšit dostupnost realizace fotoaktivních betonových konstrukcí. Experimentální část práce se zabývá přidavkem fotokatalyzátoru do stěrky a následným posouzením fotokatalytických vlastností, dále pak možnost modifikace cementových stěrek anorganickými pigmenty a aplikaci uzavíracích transparentních nátěrů pro pozdvižení barevné sytosti a odolnosti.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Polymerem modifikovaná malta, pigmenty, oxid titaničitý, fotokatalýza

## ABSTRACT

The aim of this paper is to summarize and evaluate properties of polymers modified modified mortar, their durability and the possibility of surface treatment. Recently, the requirements for additional surface treatment of architectural concrete are increased and the application of polymer-modified mortar can accelerate and simplify the realization of visible concrete. Polymer-modified mortar with the addition of powder photocatalysts can significantly reduce and thus increase the availability of photoactive concrete structures. The experimental part deals with the addition of photocatalyst to the polymer-modified mortar and the subsequent assessment of the photocatalytic properties, the possibility of modification cement mortars with anorganic pigments and the application of transparent coatings for the enhancement of color saturation and resistance.

## KEYWORDS

Polymer-modified mortar, pigments, titanium dioxide, photocatalysis

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Romana Kardošová *Vývoj cementových stěrek vyšších užitných vlastností*. Brno, 2018. 79 s., 9 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 5. 1. 2018

---

Bc. Romana Kardošová

autor práce

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 5. 1. 2018

---

Bc. Romana Kardošová

autor práce

**Poděkování:**

Děkuji svému vedoucímu prof. Ing. Rudolfu Helovi, CSc. za vedení mé diplomové práce a odborný dohled. Dále děkuji Ing. Janu Přikrylovi a laboratoři stavebních hmot Precheza a.s. za pomoc při odborné části práce.



# Obsah

I.	Teoretická část .....	11
1	Úvod.....	11
2	Cementové stěrky .....	12
2.1	Druhy polymerů .....	12
3	Pigmenty .....	14
4	Oxid titaničitý .....	16
4.1	Fotokatalýza .....	16
5	Trvanlivost .....	21
6	Povrchové úpravy .....	22
6.1	Vymývání povrchu.....	22
6.2	Reliéfní otisky .....	23
6.3	Možnosti úpravy povrchu cementových stěrek.....	24
II.	Praktická část .....	25
7	Cíl.....	25
8	Použitá zařízení a materiály .....	25
8.1	Použité materiály.....	25
8.2	Použitá zařízení .....	25
9	Metodika experimentu .....	25
9.1	Receptury .....	25
9.2	Příprava vzorků .....	27
9.3	Postupy zkoušek.....	29
9.3.1	Přidržnost.....	29
9.3.2	Mrazuvzdornost .....	31
9.3.3	Proměření barevné difference .....	32
9.3.4	Stanovení fotokatalytické účinnosti.....	33
9.3.5	Zrychlené zkoušky trvanlivosti.....	35

10	Výsledky .....	36
10.1	Měření přídržnosti .....	36
10.2	Proměření barevné difference .....	56
10.3	Stanovení fotokatalytické účinnosti .....	59
10.4	Zrychlené zkoušky trvanlivosti .....	61
10.5	Porovnání barevných odchylek cementových stěrek .....	66
10.5.1	Referenční vzorek A .....	67
10.5.2	Vzorek B s obsahem červeného pigmentu.....	68
10.5.3	Vzorek C s obsahem žlutého pigmentu .....	69
10.5.4	Vzorek D s obsahem černého pigmentu .....	70
10.5.5	Vzorek E s obsahem 1% TiO <sub>2</sub> .....	71
11	Diskuze výsledků .....	72
12	Závěr .....	75
13	Seznam použitých zdrojů.....	76
14	Seznam příloh .....	79
14.1	Seznam grafů .....	79
14.2	Seznam obrázků.....	80
14.3	Seznam tabulek.....	80
	Příloha č. 1 - technický list cementové stěrky Mapegrout 430.....	82
	Příloha č. 2 - technický list pigmentů firmy Precheza.....	84
	Příloha č. 3 - technický list uzavíracího nátěru Sika.....	90

# **I. Teoretická část**

## **1 Úvod**

S rozvíjejícím se využíváním pohledových betonů rostou i požadavky na jejich kvalitu, trvanlivost a povrchové úpravy, ať už z hlediska snížení pracnosti při provádění, maskování případných nedokonalostí nebo z důvodu snížení ceny.

Zároveň roste i zájem o materiály se samočisticími vlastnostmi, protože hlavním problémem, kterému čelí moderní společnost a ohrožuje zdraví člověka, je znečištění vzduchu a vody. Každodenní civilní, průmyslové a vojenské aktivity vytvářejí obrovské množství organických a anorganických znečišťujících látek, které nevyhnutelně skončí v naší atmosféře, řekách, mořích a půdě. Navíc, mikroby se zachytávají a rostou na površích, jako jsou stěny a okna, a představují významnou hrozbu pro lidské zdraví. Dlouhodobé vystavování těmto znečišťujícím látkám může vést k různým zdravotním obtížím jako je podráždění, kožní onemocnění nebo respirační problémy. Věda se tudíž zajímá o hledání nových alternativ a ekologicky udržitelných, obnovitelných metod pro čištění kontaminace životního prostředí. Fotokatalytické povlaky s obsahem částic  $\text{TiO}_2$ , by mohly být způsobem, jak zabránit hojnému množení mikroorganismů, které ulpívají na stavebních konstrukcích, a zároveň snižovat obsah znečišťujících látek v ovzduší.

## 2 Cementové stěrky

Vlastnosti silikátových hmot je možné různě vylepšovat pomocí přísad a příměsí. Přísada je chemická sloučenina, přidávaná do směsi během míchání, za účelem modifikace jejích vlastností čerstvém nebo tvrdnoucím stavu, ať už se jedná o přísady vodoredukující, provzdušňující, zpomalující či naopak urychlující tuhnutí nebo hydrofobizační. Při použití více než jedné přísady je nutné ověřit jejich vzájemnou kompatibilitu. Příměši jsou jemné anorganické nebo organické látky přidávané do směsi za účelem zlepšení konečných vlastností nebo dosažení požadovaných vlastností. Příkladem takové příměši je přídavek polymeru do cementové stěrky. [4]

### 2.1 Druhy polymerů

Polymery je možné přidávat buď v podobě vodné polymerní disperze nebo jako redispergovatelný polymerní prášek. Částice jsou v disperzi stabilizovány emulgátory nebo ochrannými koloidy, které jsou absorbovány na jejich povrchu. Disperze se vyrábí na bázi:

- polyvinylacetát (PVAC) a jeho kopolymery
- polymery esterů kyseliny akrylové (akryláty A) a metakrylové (MA)
- polyvinylpropionát (PVP)
- polystyrenbutadienové kopolymery (PSB)
- polymery a kopolymery olefinů (polyetylen, polypropylen)

#### Hlavní požadavky na polymerní modifikátory malt:

- vysoká chemická stabilita vůči velmi aktivním kationtům jako jsou  $\text{Ca}_2^+$  a  $\text{Al}_3^+$
- uvolňujících se během cementové hydratace
- vysoká mechanická stabilita vůči namáhání při smykovém tření při míšení cementové pasty
- nízký provzdušňovací vliv při míšení cementové pasty
- bez zásadního vlivu na cementovou hydrataci
- výborná odolnost proti vodě a alkáliím
- tepelná stálost při manipulaci, skladování
- vysoká adheze ke kamenivu

## **Modifikace cementových stěrky:**

### **Přídavkem vodné polymerní disperze**

Vodné polymerní disperze lze do cementové stěrky přidat pouze na stavbě, při mísení suché směsi s vodou. Musí tedy být na stavbu dodána zvlášť jak suchá maltovinová směs, tak polymerní disperze. Tento postup není v praxi příliš využíván.

### **Přídavkem redispergovatelného polymerního prášku**

Polymerní prášky jsou vyráběny z polymerní disperze odpařením vody ve vakuu a následně jsou opatřeny ochranným koloidem, aby se zabránilo slepení. Dávkování polymeru do maltovinové směsi probíhá přímo ve výrobním závodě a na stavbu je pak možno dodávat již hotovou suchou směs. Tím, že odpadá proces dávkování polymeru na stavbě je zajištěna stálá kvalita směsi. Přídavek polymerního prášku do cementové stěrky pomáhá zlepšit množství technických požadavků, jako je přídržnost k podkladu, odolnost vůči obrusu, snížení vzniku trhlin, zvýšení mechanických pevností zejména pevností v tahu za ohybu. Je to způsobeno především tím, že se polymer koncentruje ve vznikajících pórech a zesiluje tak cementovou matici. Dá se říci, že redispergovatelný polymerní prášek funguje v cementové matici jako sekundární polymerní pojivo. [4] [10]

### 3 Pigmenty

Pigment je materiál, který mění barvu odráženého světla, což je způsobeno selektivním pohlcováním určitých vlnových délek. Výsledná barva je dána spektrem odražených vlnových délek světla. Pigmenty mohou být jak organické tak i anorganické. A v obou skupinách mohou být přírodní i uměle vyráběné (syntetické) materiály. Obvykle se jedná o velmi jemnozrnné hmoty s velikostí částic od 0,2 do 10  $\mu\text{m}$ . [6]

Vzhledem k tomu, že má cementová malta silně alkalické prostředí, nelze do proto do směsi používat jakákoliv barviva na organické bázi, která se v alkalickém prostředí za přítomnosti vlhkosti rozkládají. Nejvhodnější pro barvení cementové malty jsou oxidy kovů a uhlík. Vzhledem k tomu, že jsou výsledné výrobky ve většině případů vystaveny vlivům povětrnosti a působení slunečního záření, je nutné, aby kromě odolnosti vůči alkalickému prostředí, byly barevné pigmenty světlostálé, tj. aby neměnily odstín působením ultrafialového záření. Tyto dva požadavky vedou k dosti velkému omezení barevné škály pigmentů, kterou lze u výrobků dosáhnout, protože anorganické pigmenty jsou vyráběny pouze v omezeném barevném sortimentu. Běžně dostupné jsou červené, hnědé, žluté a černé pigmenty a poměrně velmi drahé a méně používané jsou pigmenty zelené, modré a bílé. Anorganické pigmenty lze sice navzájem míchat, ale míchání je velmi problematické a v běžné výrobě betonových výrobků se téměř nepoužívá. Nejčastěji používané jsou:

#### **Anorganické pigmenty:**

- Syntetické nebo přírodní oxidy a hydroxidy železa
- Oxidy manganu, chromu a titanu
- Komplexní anorganické oxidy a hydroxidy kobaltu, hliník a niklu

#### **Organické pigmenty a uhlík:**

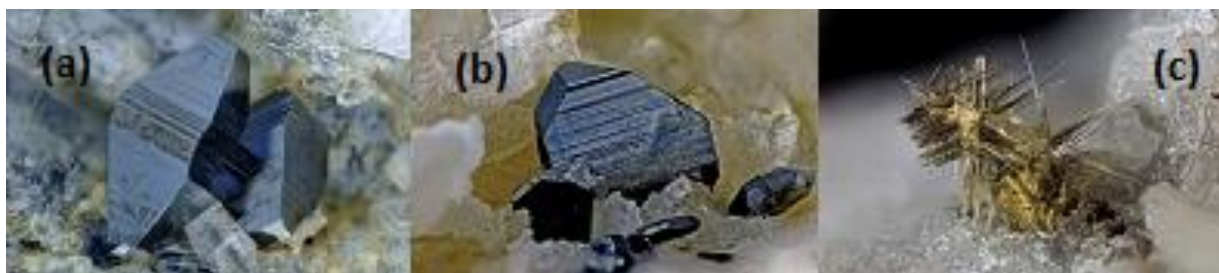
- Ultramarín
- Ftalocyanin modrý a zelený
- Uhlík (saze)

Barevné pigmenty se vyrábějí buď v práškové, nebo v tekuté podobě. Práškové pigmenty mají výhodu neomezené životnosti vzhledem k chemické povaze (jsou-li náležitě zabaleny a uloženy v suchu). Tekuté pigmenty, které jsou rozmíchány v nosné suspenzi, po určitém čase podléhají sedimentaci, nesmí být vystaveny mrazu a musí být před použitím vždy dokonale promíchány. Tekuté pigmenty vesměs obsahují 50 až 60 % pigmentu. Výhodou tekutých pigmentů je snadné strojní dávkování pomocí lamelových čerpadel. Práškové pigmenty se dávkuje obtížněji šnekovými dopravníky. Někteří výrobci pigmentů vyrábí pigmenty v granulované podobě. Tyto pigmenty jsou určeny výhradně pro pneumatická dávkovací zařízení a vyžadují velmi účinné míchací zařízení, které musí rozdrtit granule, aby pigment náležitě obarvil betonovou směs. Pigmenty se dávkuje ve vztahu k hmotnosti cementu. Jejich dávka se pohybuje od nulové hodnoty až do stavu barevného nasycení, kdy dalším zvyšováním dávky pigmentu již nedochází ke změně barevného odstínu směsi. Za standardní dávku práškového pigmentu je považována dávka 3%, obecně platí, že množství pigmentu by nemělo překročit 10% hmotnosti cementu, v opačném případě je nutno ověřit vliv na vlastnosti zatvrdlé malty. Při dávkování tekutých pigmentů je třeba znát obsah vlastního pigmentu v suspenzi a podle tohoto obsahu stanovit dávku.

Na výslednou probarvenost směsi má zásadní vliv jak výkon míchacího zařízení, přesné dodržování dávkování složek, tak hodnota vodního součinitele. Při nízkém vodním součiniteli dosáhneme tmavšího zabarvení výrobků než u vyšších hodnot vodního součinitele. I malé kolísání dávky vody může způsobit odlišné odstíny výrobků. Stejný vliv má i obsah cementu, při nižší dávce cementu získáme tmavší odstín než při použití vyšší dávky. [7]

## 4 Oxid titaničitý

Titan patří k nejrozšířenějším kovům zemské kůry. Jeho nejstabilnější sloučeninou je právě oxid titaničitý. Tento jemný bílý prášek se vyskytuje ve třech krystalických formách jako rutil, anatas a brookit, které se od sebe navzájem liší vlastnostmi, strukturou a uspořádání titanu a kyslíku. Přičemž nejstabilnější je rutil, který se získává kalcinací při vysokých teplotách, anatas a brookit jsou stabilní pouze při nízkých teplotách a proto nemají příliš velké praktické využití.



*Obrázek 1: anatas (a), brookit (b), rutil (c) [5]*

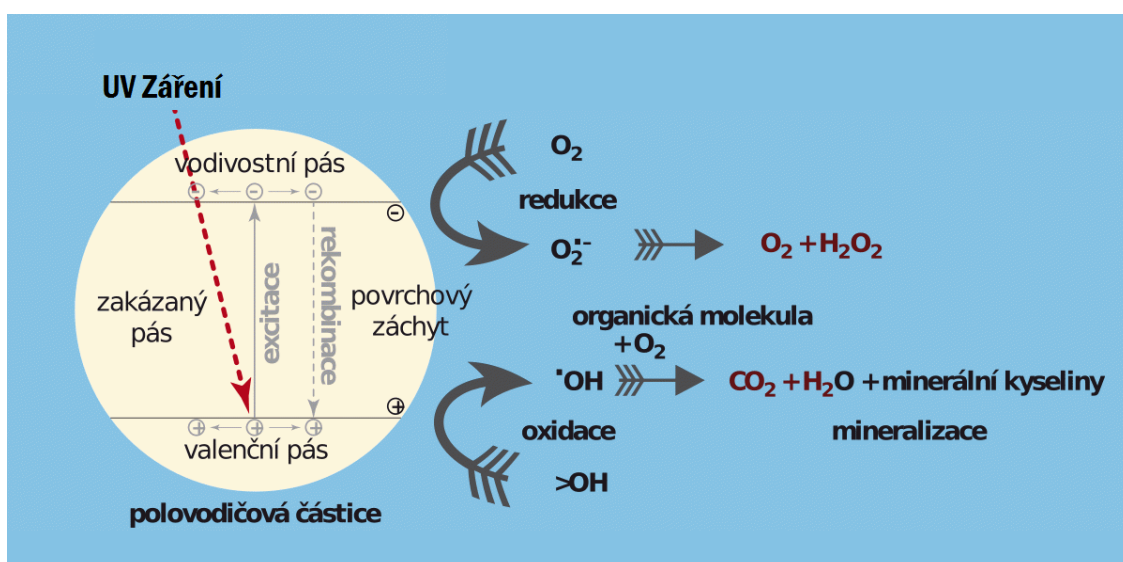
Oxid titaničitý díky svým výjimečným vlastnostem, jako jsou vysoký index lomu, vysoká transparentnost, fotostabilita ve viditelné a infračervené oblasti, atd., má velké technologické využití. Po přidání do cementové matrice umožňuje betonu získat nové samočisticí schopnosti, ale je také slouží k ochraně povrchů a dochází i k oxidaci polutantů a ze vzduchu se odstraňují nejen škodliviny, zápach a kouř, ale i živé organické látky, jako jsou bakterie, viry, houby a plísně. Jeho využití se tedy jeví jako velmi perspektivní. Vhodně upravený oxid titaničitý reaguje po působení UVA záření vznikem fotokatalýzy. [1] [2] [3]

### 4.1 Fotokatalýza

Fotokatalýza je proces chemického rozkladu látek za přítomnosti fotokatalyzátoru a světelného záření. Principiálně vychází z fotolýzy, přirozeného rozkladu některých látek působením světla, urychlené přítomností fotokatalyzátoru. Nejčastěji používanými fotokatalyzátory jsou polovodiče s vhodnou kombinací požadovaných vlastností, jako jsou přenos náboje, absorpce světelného záření, životnost excitovaných stavů a elektronová struktura.



V tuhé látce jsou energetické hladiny elektronů seskupeny do energetických pásů (pásky zakázaných a dovolených energií). Nejvyšší zaplněný energetický pás se nazývá valenční a nejnižší neobsazený se nazývá vodivostní pás. Energetický rozdíl mezi hranami těchto pásů udává takzvaný zakázaný pás ( $E_g$ ). Právě šířka zakázaného pásu je jednou z velmi důležitých charakteristik a určuje povahu tuhé látky. Šířka zakázaného pásu v rozmezí 0,5–3,2 eV přísluší polovodičům, hodnota vyšší než 3,2 eV izolantům. Pokud fotokatalyzátor absorbuje záření (foton) o energii vyšší nebo rovné šířce zakázaného pásu, dochází k excitaci elektronu z valenčního do vodivostního pásu a zároveň se vygeneruje díra  $h^+$  ve valenčním pásu. Elektron a díra mohou rekombinovat na povrchu nebo v objemu částice během několika nanosekund za současného uvolnění energie ve formě tepla. Pokud je vhodný akceptor nebo donor absorbován na povrchu částice nebo se nalézá v její těsné blízkosti, může docházet k redoxní reakci (Obrázek 2). Redukce bude probíhat v případě, bude-li energie na spodním okraji valenčního pásu větší než redukční potenciál redukovaných částic. Oxidace proběhne pouze tehdy, když bude horní okraj valenčního pásu níž, než energie oxidačního potenciálu oxidovaných částic. U polovodičů jsou nositeli záporného náboje elektrony, které přešly do neobsazeného vodivostního pásu a nositeli kladného náboje jsou elektronové díry nebo-li vakance, vzniklé uvolněním elektronových hladin ve valenčním pásu. [11]



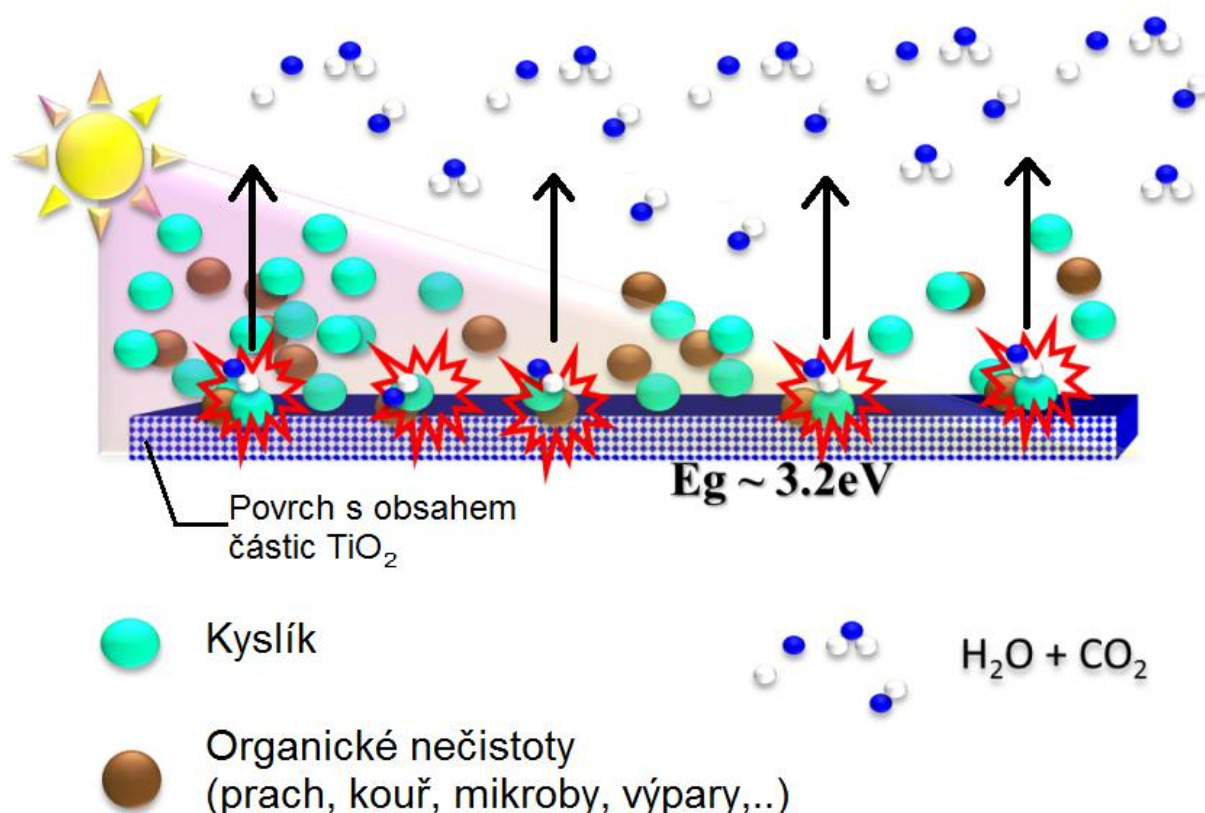
Obrázek 2: Schéma fotokatalytické degradace organických látek na polovodičové částici působením ultrafialového záření. [13]

Je-li materiál s fotokatalytickými vlastnostmi vystaven světelnému záření vhodné vlnové délky, obvykle o frekvencích v rozsahu od 340 do 370 nm, aktivuje se jeho povrch a spustí se charakteristická reakce. Na povrchu fotokatalyzátoru vznikají dvojice kladných a záporných nábojů. Ty reagují s molekulami kyslíku a vody z ovzduší a na povrchu katalyzátoru vznikají vysoce reaktivní hydroxylové a peroxidové radikály. Tyto částice rozkládají organické látky z okolního vzduchu nebo vody. Během oxidačně redukční reakce se organické škodliviny rozpadají, konečnými produkty fotokatalýzy jsou látky neškodné pro okolní prostředí – kyslík, oxid uhličitý, dusičnany, sírany a voda. Navíc v důsledku UV záření dochází k navázání –OH skupin a při smáčení povrchu betonu dochází k rovnoměrnému pokrytí povrchu tenkým vodním filmem, který zabraňuje usazování nečistot a vzniku hub a plísní na povrchu materiálu. Rychlost, s jakou tyto reakce probíhají, závisí na intenzitě světla, podmínkách prostředí (teplotě, relativní vlhkosti), množství  $\text{TiO}_2$  přítomném na povrchu a adhezi znečišťujících látek k povrchu. V případě výfukových plynů ovlivňují konečnou míru redukce rychlost dopravy, rychlost a směr větru a teplota. S vyšší teplotou probíhá reakce rychleji, relativní vlhkost vzduchu je důležitá z toho důvodu, že voda v ovzduší hraje důležitou roli v přilnavosti znečišťujících látek na povrchu konstrukce a tudíž se zvyšující se relativní vlhkostí klesá míra konverze. Optimálními podmínkami jsou tedy letní dny s vysokými teplotami a nízkou relativní vlhkostí. [1] [2] [3] [8]

Heterogenní fotokatalýza s použitím  $\text{TiO}_2$  jako katalyzátoru je rychle se vyvíjejícím polem environmentálního inženýrství. Má velký potenciál se vyrovnat se vzrůstajícím znečištěním. Impulz pro použití  $\text{TiO}_2$  jako fotokatalyzátoru byl dán Fujishimou a Hondou v roce 1972, kdy objevili, že k hydrolýze může docházet za přítomnosti světla, pomocí  $\text{TiO}_2$  anody. Tohoto objevu bylo v osmdesátých letech minulého století využíváno pro rozkládání organického znečištění ve vodě přidáním  $\text{TiO}_2$  pod vlivem UV záření. V roce 1996 byl oxid titaničitý aplikován jako čistič vzduchu a na trhu se objevilo velké množství výrobků jak pro vnitřní, tak pro vnější prostředí. [8]

V poslední době stoupá zejména v Evropě a Japonsku zájem o využívání  $\text{TiO}_2$  jako fotokatalyzátoru ve stavebních materiálech. Pokud jde o snížení znečištění ovzduší v důsledku dopravy v městských oblastech, jeví se jako optimální řešení aplikace  $\text{TiO}_2$  v materiálech na bázi cementu na povrch vozovky nebo na povrchy budov.

Pro zvýšení účinnosti fotokatalyzátoru je jeho přítomnost na povrchu materiálu klíčová. Cílem je mít na povrchu materiálu co největší množství  $\text{TiO}_2$ , aniž by docházelo k jeho ztrátám abrazivními účinky nebo povětrnostními vlivy. Jako nejefektivnější způsob se jeví aplikace  $\text{TiO}_2$  v tenké vrstvě materiálu na bázi cementu, nanesené na povrch konstrukce. K určení účinnosti čištění vzduchu za pomoci  $\text{TiO}_2$  aplikovaného v konstrukci se užívá stanovení oxidace  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$  na  $\text{NO}_3$ .  $\text{NO}_3$ , který se vytvoří během procesu, se vysráží na povrchu konstrukce, proto je nutné, aby byla konstrukce splachována deštěm, kvůli zachování účinnosti materiálu. [8]

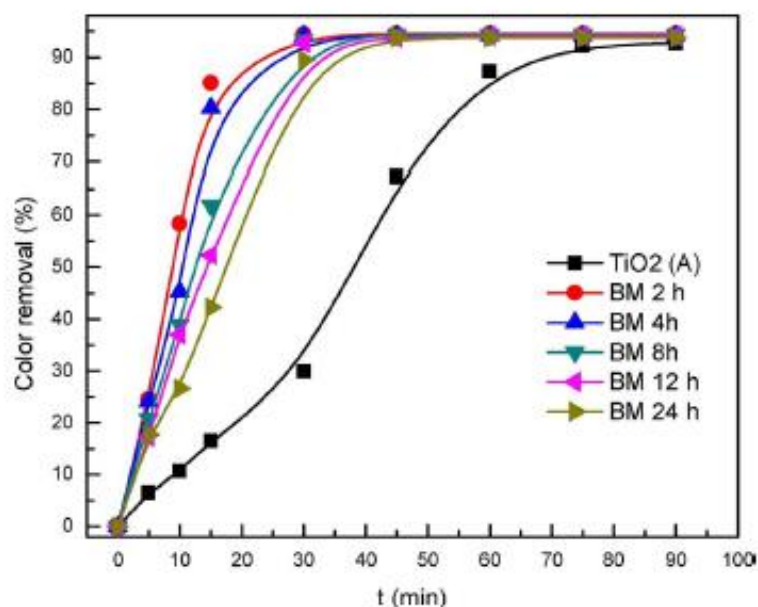


Obrázek 3: Princip rozkladu organických částic za pomoci  $\text{TiO}_2$  a slunečního záření

Aby se zvýšila fotokatalytická účinnost  $\text{TiO}_2$ , používají se různé způsoby pro úpravu jeho fyzikálních vlastností, jako je úprava povrchu, hybridizací, technikou sprejové pyrolýzy nebo přidavek anorganických solí. Tyto způsoby jsou ale komplikované, pracné a nákladné. Je tedy silná potřeba jednoduchého řešení pro zlepšení fotokatalytické účinnosti  $\text{TiO}_2$ . Fotokatalytický výkon může ovlivnit

několik parametrů, jako je poměr krystalické a amorfní fáze, složení fází, velikost částic a specifický povrch. [12]

Jing Miao, Rui Zhang a Ling Zhang zkoumali vliv velikosti částic na fotokatalytické vlastnosti  $\text{TiO}_2$ . Ve svém pokusu prášek s obsahem  $\text{TiO}_2$  domílali na kulovém mlýnu po různou dobu a sledovali vliv na fotokatalytické účinky materiálu za pomoci degradace použitého barviva. Na následujícím grafu jsou znázorněny výsledky jejich pokusu. Z grafu vyplývá, že neupravený  $\text{TiO}_2$  vykazoval nejhorší fotokatalytické účinky, zatímco se jako nejúčinnější jevil vzorek domílaný v kulovém mlýně po dobu 2 hodin. Naopak čím déle byl vzorek domílán, tím více se blížil hodnotám neupravovaného vzorku. Nijak neupravovaný vzorek rozložil použité barvivo z 30% během 30 minut, z 65% během 45 min a z 90% během 75 min. Všechny domílané vzorky dosáhly rozkladu barviva z 30% během 5-10 minut. Vzorek  $\text{TiO}_2$  domílaný po dobu 2 hodin dosáhl rozkladu barviva z 94,4% během 30 minut. [12]



Obrázek 4: Vliv doby mletí na fotokatalytickou účinnost  $\text{TiO}_2$ .  $\text{TiO}_2(\text{A})$  je neupravený prášek, ostatní vzorky byly domílaný po dobu 2, 4, 8, 12 a 24 hodin. [12]

## 5 Trvanlivost

V průběhu času dochází ke stárnutí povrchu cementové matrice a tak může docházet ke změnám jejího vzhledu. Díky stárnutí sice získává povrch určitou patinu, která může být esteticky žádoucí, ale většinou je stárnutí povrchu hodnoceno spíše negativně.

Mezi hlavní faktory ovlivňující vzhled matrice patří působení deště, který se chová jako hladová voda, to znamená, že vyluhuje vápenné složky pojiva, dále sem patří působení prachu, kyselin, usazování řas, zarůstání mechem a jinými rostlinami, které narušují povrch v důsledku zarůstání kořenů do matrice. Dalším faktorem je působení mrazu či chemických rozmrazovacích látek, jejichž vlivem může docházet k popraskání povrchu či odprýskávání povrchových vrstev. Což může mít za následek buď estetické znehodnocení konstrukce, případně může vést k pronikání vody a dalších látek do hlubších vrstev konstrukce, což může způsobovat k jejich postupné degradaci. Trhliny na povrchu nejsou sice esteticky žádoucí, ale žádný normový předpis, který by definoval akceptovatelnou šířku trhliny, neexistuje. Šířka trhlín resp. jejich vizuální dopad na vzhled konstrukce, musí být vždy posuzován z běžné „provozní“ vzdálenosti a jejich esteticky přípustnou šířku trhliny musí vždy definovat architekt nebo projektant v závislosti na celkové architektonické koncepci objektu i na základě případných individuálních požadavků investora.

Zamezit vzniku trhlín se dá nejen vhodným členěním ploch konstrukce, které předchází výskytu trhlín, ale také vhodným ošetřením povrchu, ať už zamezením příliš rychlého vysychání v důsledku vysokých teplot při realizaci, tak dodatečné ochraně konstrukce před mrazem pomocí hydrofobizačních nátěrů, které sníží nasákavost a povrch uzavrou. [14] [21]

Po dobu životnosti povrchové vrstvy je nutno provádět údržbu povrchu, kterou je nutno plánovat spolu s údržbou celého objektu. Za údržbu povrchu můžeme považovat jak čištění, například za pomoci tlakové vody, tak obnovu celého povrchu. [14]

## **6 Povrchové úpravy**

Finální povrch cementových kompozitů je možno upravovat několika způsoby. Například hlazením, leštěním, pískováním, vymýváním, reliéfními otisky a úprava povrchu kyselinou.

### **6.1 Vymývání povrchu**

Princip vymývání povrchu cementové matrice spočívá v nanesení zpomalovače tuhnutí na nosič, který je přiložen k povrchu matrice a následném vymytí povrchu za pomoci proudu vody. K vymývání je možno používat vymývací papíry, laky, pasty nebo gely. Látky při procesu vymývání neohrožují životní prostředí, protože se časem samy odbourávají. Zpomalovač tuhnutí se nanáší strojově za pomoci souřadnicového zapisovače. [15] [17]

#### **Vymývací papír**

Použití vymývacího papíru je jednoduché a zaručuje rovnoměrný obraz vymytí. Podle typu papíru je použitelný pro všechny stroje a typy bednění. Nepropouští vodu a jeho výhodou je, že i přes svou dobrou přilnavost se nelepí na formy a je lehce odstranitelný. Zamezuje vysychání cementové matrice v průběhu zrání. Dodává se komerčně v mnohých variantách vhodných pro různé hloubky vymývání povrchu. Nejjemnější vymývání složí k dosažení efektu pískovaného povrchu, zatímco největší hloubka vymývání odhaluje celá zrna kameniva. [16]

#### **Vymývací laky, pasty a gely**

Použití vymývacích laků, past a gelů se uplatňuje především tam, kde je použití vymývacího papíru z praktických důvodů omezeno. Za pomoci vymývacího gelu je možno dosáhnout velmi jemného vymývání do „mikrometrických“ hloubek. [17]





*Obrázek 5: Úprava povrchu cementové matrice vymýváním [18]*

## **6.2 Reliéfní otisky**

Povrch se vytváří za pomoci reliéfních matric, které umožňují dosažení velice kvalitní struktury povrchu. Tyto matrice jsou často vyrobeny z plastů nebo z elastického polyuretanu. Jejich použitím jsme schopni dosáhnout široké škály povrchových struktur. Životnost reliéfní matrice se pohybuje kolem 100 cyklů, nevýhodou je ale jejich vysoká cena. [15]



*Obrázek 6: Obtisk reliéfní matrice do povrchu betonu [19]*

### 6.3 Možnosti úpravy povrchu cementových stěrek

U cementových stěrek s obsahem fotoaktivního  $\text{TiO}_2$  závisí na velikosti kontaktního povrchu. Jelikož pro zvýšení účinnosti fotokatalyzátoru je jeho přítomnost na povrchu materiálu klíčová, je cílem mít co největší povrch materiálu s co největším množstvím  $\text{TiO}_2$ . Toho lze dosáhnout vytvořením zvrásněného (žebrovaného) povrchu ať už drásáním povrchu za čerstvého stavu nebo za pomoci reliéfních raznic například v podobě válce pro tvorbu plošných reliéfních vzorů.



*Obrázek 7: Příklad válcové reliéfní raznice pro tvorbu žebrovaného povrchu [20]*

Další možností úpravy je vymývání povrchu cementové stěrky za účelem snížení množství cementového kamene v povrchových vrstvách stěrky. Vymytí povrchové vrstvy může sloužit pro ilustraci snížení obsahu  $\text{TiO}_2$  v povrchové vrstvě, čímž by při stanovení fotokatalytické účinnosti za pomoci proudícího testovacího plynu s obsahem  $\text{NO}_x$  došlo k tomu, že by křivka schopnosti konverze  $\text{NO}_x$  byla naopak nejnižší položená.



## **II. Praktická část**

### **7 Cíl**

Cílem této diplomové práce je připravit sérii receptur polymery modifikovaných stěrek a to stěrky probarvené anorganickými pigmenty a stěrky s fotokatalyticky aktivním materiálem. V praktické části práce je třeba ověřit možnost aplikace práškových fotokatalyzátorů, jako alternativa pro zefektivnění a zlevnění realizace fotoaktivních betonových konstrukcí. Následně je nutno zhodnotit vliv uzavíracích transparentních nátěrů pro barevné stěrky za účelem pozdvižení sytosti odstínu a zlepšení trvanlivosti. U všech vyhotovených receptur je nutno ověřit přídržnost a trvanlivost.

### **8 Použitá zařízení a materiály**

#### **8.1 Použité materiály**

Byla použita balená polymerní stěrka Mapegrout 430 od firmy Mapei, anorganické pigmenty od firmy Precheza a to v barvě žlutá, červená a černá. Zároveň byla polymerní stěrka modifikována příměsí fotokatalytického  $\text{TiO}_2$ , také od firmy Precheza. Záměsová voda byla použita pitná z vodovodního řádu.

#### **8.2 Použitá zařízení**

Použitými zařízeními byly analytické váhy s přesností na 0,0001 g, laboratorní váhy s přesností na 0,01 g a elektrické míchadlo pro přípravu malt.

### **9 Metodika experimentu**

#### **9.1 Receptury**

Pro tento experiment bylo zvoleno pět různých receptur. Polymerní stěrka byla modifikována příměsí anorganických pigmentů v dávce 1% z hmotnosti stěrky.

Použité druhy příměsí modifikujících polymerní stěrku:

- Anorganický červený pigment TP303
- Anorganický žlutý pigment Y710
- Anorganický černý pigment B630
- Nepigmentové fotokatalytické  $\text{TiO}_2$  PK20A

Stěrka s obsahem nepigmentového fotokatalytického  $\text{TiO}_2$  byla dále modifikována na základě výsledků, zvýšením dávky na 5 a 10% z hmotnosti stěrky.



Obrázek 8: Navážená cementová stěrka s dávkou pigmentu

Přesné složení směsí pro výrobu zkušebních těles je uvedeno v Tabulce 1.

Tabulka 1: Receptury záměsí

Název směsi	Složení		
	Polymerní stěrka [g]	Voda [g]	Pigment [g]
REF	3000	540	-
TP303 (červený)	3000	540	30
Y710 (žlutý)	3000	540	30
B630 (černý)	3000	540	30
PK20A ( $\text{TiO}_2$ ) 1%	3000	540	30
PK20A ( $\text{TiO}_2$ ) 5%	3000	540	150
PK20A ( $\text{TiO}_2$ ) 10%	3000	540	300

## 9.2 Příprava vzorků

Metoda dávkování jednotlivých složek byla zvolena následovně:

- Hmotnostní dávkování záměsové vody na laboratorních vahách.
- Hmotnostní dávkování portlandského cementu na laboratorních vahách.
- Hmotností dávkování anorganických pigmentů dle dané receptury.

Pro nanášení stěrky do podoby plošných vzorků, byly jako podklad použity odřezky plošných betonových dlažeb o rozměru 20 × 20 cm. Příprava vzorků probíhala následovně:

- Smíchání navážených surovin elektrickým míchadlem.
- Navlhčení podkladu (odřezky betonových dlažeb)
- Nanesení cementové stěrky na odřezky betonových dlažeb v tloušťce cca 5 mm.
- Zrání vzorků po dobu 28 dnů.
- Uložení jedné sady vzorků v laboratoři
- Ostatní sady vzorků byly uloženy ve venkovním prostředí, aby byly vystaveny povětrnostním podmínkám během letních měsíců, tj. od června do září..



*Obrázek 9: Elektrické míchadlo pro přípravu malt (vlevo) a odřezky betonových dlažeb pro nanášení modifikovaných cementových stěrky (vpravo)*



*Obrázek 10: Modifikovaná cementová stěrka v čerstvém (vlevo) a v zatvrdlém stavu (vpravo)*

## **9.3 Postupy zkoušek**

### **9.3.1 Přídržnost**

Přídržnost byla stanovena dle ČSN EN 13892 – 8. Stanovuje jako namáhání v tahu vynaložené příčným zatížením kolmým k povrchu přidržované plochy. Přídržnost se vypočítá jako podíl zatížení vedoucího k porušení a zkoušené plochy. Zkoušená plocha je dána vyvrtanou nebo vyřezanou plochou přes potěrový materiál do podkladu.

#### **9.3.1.1 Pomůcky**

##### **Ocelové odtrhové desky:**

S kruhovou plochou o průměru  $(50 \pm 0,5)$  mm nebo s čtvercovou plochou o straně  $(50 \pm 0,5)$  mm. Jejich tloušťka musí být nejméně 20 mm. Na straně, na níž se nanáší lepidlo, musí být plocha desky čistá a rovná s tolerancí 0,1 mm na 50 mm délky. Musí být opatřena prostředkem sloužícím k uchycení ke zkušebnímu přístroji tak, aby síla byla vykládána na zkoušenou plochu bez působení ohybových nebo stříhových sil.

##### **Diamantová pila:**

Umožňuje řez potěrem.

##### **Odtrhový zkušební přístroj:**

Vyhovující EN 24624 umožňující vynaložení tahové síly dostatečné k porušení zkušebního tělesa. Jeho přesnost musí být v rozsahu  $\pm 2 \%$  (pro většinu použití postačuje výkon 10 kN). Odtrhový zkušební přístroj musí umožnit vynaložení zatížení podle 3.1 EN 24624:1992 a musí být vybaven analogovým nebo digitálním systémem pro změření vynaložené síly. Měřicí zařízení musí umožnit zachování čtení údaje o maximální vynaložené síle.



*Obrázek 11: Odtrhový přístroj DYNA*

### **9.3.1.2 Zkušební postup**

Odběr vzorků potěrového materiálu, zhotovení a ošetření zkušebních těles musí být provedeno podle postupu uvedeného v EN 13892 – 1. Tloušťka vrstvy potěru musí být v rozsahu deklarovaném výrobcem. Musí se použít buď kruhové nebo čtvercové odtrhové desky. Čtvercovým deskám se dává přednost v případech, kdy tloušťka potěru je větší než 20 mm. Potěrovým materiálem musí být vyvrtáno nebo vyřezáno nejméně 5 zkušebních ploch do hloubky asi 50 mm. Zkušební plochy musí být nejméně 50 mm od sebe a nejméně 50 mm od okraje zkušební plochy na desce. Rozměry každé plochy se musí změřit s přesností 0,5 mm. Po uložení se podle potřeby vyvrtají nebo vyřezou pomocí vyřezávacího prstence nebo pilou zkušební plochy. Výřezy musí být provedeny tak, aby zasahovaly více než 5 mm do podkladu. Poškozená zkušební tělesa se nesmí použít. Odtrhové desky musí být pomocí lepidla centricky přilepeny na zkoušené plochy. Přitom se musí zabránit přetečení lepidla přes provedené řezy. Tahová síla musí být vynaložena pomocí odtrhových desek kolmo ke zkoušené ploše. Zatížení musí být vynakládáno rovnoměrně bez rázů rychlostí  $(0,05 \pm 0,01) \text{ N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{s})$ . Zaznamená se síla vynaložená při porušení. Vyloučí se výsledky každé zkoušky, u níž dojde k odtržení ve vrstvě lepidla mezi podkladem a potěrem, a v případě, že je získaná hodnota nižší než hodnota předepsaná.

### **Vyjádření výsledků:**

Vypočítají se jednotlivé hodnoty přídržnosti B podle následujícího vztahu:

$$B = \frac{F}{A} \quad [N \cdot mm^{-2}]$$

Kde:

B.....přídržnost [ $N \cdot mm^{-2}$ ]

F.....tahová síla [N]

A.....zkušební plocha [ $mm^2$ ]

Způsob porušení zkoušeného tělesa se musí posoudit vizuálně.

### **Způsoby porušení jsou následující:**

- Porušení soudržnosti ve vrstvě betonové podložky,
- Porušení mezi betonovým podkladem a potěrem,
- Porušení soudržnosti ve vrstvě potěru,
- Porušení mezi vrstvou lepidla a odtrhovou deskou [9].

### **9.3.2 Mrázuvzdornost**

Zkouška mrazuvzdornosti stavebního materiálu patří mezi základní metody ověřování jeho trvanlivosti, vyjadřuje odolnost stavebního materiálu vůči výraznému střídání teplot a působení atmosférických vlivů s ohledem na jeho funkčnost a použitelnost v dlouhodobém časovém horizontu. Zkouška vycházela z normy ČSN 73 1322. Princip metody spočívá ve střídavém zmrazování a rozmrazování vodou nasycených zkušebních těles na počet cyklů daný příslušnými normami, předpisy nebo projektem. Jeden zmrazovací cyklus sestává ze 4h zmrazování (-15 až -20°C nebo -18 až -23°C) a z 2h rozmrazování ve vodě při teplotě +20°C. Jednotlivé cykly jsou automaticky řízeny vhodnou chladicí skříní s řídicí jednotkou. Vzorky byly podrobeny 50-ti zmrazovacím cyklům. Následně byly na zmrazovaných vzorcích prováděny další zkoušky, jako je stanovení přídržnosti a proměření barevných změn. Výsledky těchto zkoušek pro zmrazované vzorky byly následně porovnávány se vzorky, které zmrazování podrobeny nebyly.

### 9.3.3 Proměření barevné difference

Po 28 dnech byly vzorky podrobeny měření barevné difference dle normy UNI11259. Zkušební metoda spočívá ve sledování kolorimetrického vývoje v čase (26 hod.) u vzorků cementové stěrky, jejíž povrch byl upraven organickým barvivem a vystaven UV záření. Zvolené organické barvivo je rhodamin B, který je ve známé koncentraci aplikován na povrch. Zkouška umožňuje zhodnotit, jestli je vzorek cementové stěrky fotokatalytický prostřednictvím odbarvení rhodaminu. Ke kolorimetrickému zjišťování je použit kolorimetr operující podle systému CIE  $L^*a^*b^*$ , iluminant D65/10 se sférickou geometrií  $8^\circ$ . V tomto systému  $L^*$  označuje světlost, zatímco  $a^*$  a  $b^*$  jsou kolorimetrické souřadnice, které představují rozsah barevných odstínů v dvourozměrné rovině.

Pokud se souřadnice  $a^*$  nachází ve stupnici (+), označuje příklon k červené a pokud ve stupnici (-), označuje příklonění směrem k zelené. Souřadnice  $b^*$  pak na kladné stupnici (+) směřuje ke žluté, zatímco na té záporné (-) směřuje k modré.

Protože byl při této metodě použit rhodamin B, který je červené barvy, musí se zkoušet pouze kolorimetrická souřadnice  $a^*$ .

Rhodamin B byl zvolen z následujících důvodů:

- nízká fotosenzibilita k UV světlu
- vysoká stálost v alkalickém prostředí
- vysoká kolorimetrická citlivost
- široké použití ve fotokatalýze

#### 9.3.3.1 Příprava vzorků

Byl použit roztok barviva rhodamin B rozpuštěný ve vodě v koncentraci  $0,05 \text{ g/l} \pm 0,005 \text{ g/l}$ . Pracovní stůl tvoří připravený vzorek a UV lampa a kolorimetr. Okolní prostředí musí mít teplotu  $20^\circ \pm 2^\circ \text{C}$  a relativní vlhkost  $70 \pm 10\%$ .

Na povrch vzorku se nanese hydrofobní produkt (například na silikonové bázi) pro vymezení plochy cca  $22 \pm 2 \text{ cm}^2$ . Po úplném zaschnutí hydrofobní vrstvy se na ohraničenou plochu aplikuje 0,5 ml roztoku rhodaminu  $0,05 \text{ g/l}$ . Vzorek se umístí na tmavé místo s teplotou  $20^\circ \pm 1^\circ \text{C}$  a relativní vlhkostí  $60 \pm 10\%$  po dobu 24 hodin.



### 9.3.3.2 Postup zkoušky

Kolorimetrem se provede první měření parametru  $a^*(0)$  bezprostředně před vystavením vzorku záření UV lampy. Musí se měřit na třech různých místech vzorku a z těchto měření se udělá aritmetický průměr. Po 4 hodinách vystavení vzorku UV záření se provede druhé měření:  $a^*(4)$ . Stejně jako u předchozího měření se měří na třech různých místech vzorku a udělá se aritmetický průměr. Po 26 hodinách vystavení vzorku UV záření se provede poslední měření:  $a^*(26)$ . Výsledek zkoušky je definován jako aritmetický průměr provedených kolorimetrických měření na řadě 3 vzorků. Pokud v rámci měření bude některý z výsledků lišit i více než  $\pm 10\%$  měřené hodnoty, je nutné tento výsledek eliminovat a opakovat měření na dalším vzorku. Pokud i čtvrtý vzorek vykazuje výsledky, které přesahují odchylku  $\pm 10\%$ , celá řada vzorků musí být vyřazena. Zkoumaný materiál je považován za fotokatalytický ve vztahu k rhodaminu, pouze pokud jsou splněny tyto náležitosti:

$$R_4 > 20\% \quad \text{a} \quad R_{26} > 50\%$$

s:

$$R_4 = \frac{a^*(0) - a^*(4)}{a^*(0)} \cdot 100 \quad [\%]$$

$$R_{26} = \frac{a^*(0) - a^*(26)}{a^*(0)} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde:

$a^*(0)$ ... kolorimetrická souřadnice na počátku měření

$a^*(4)$ ... kolorimetrická souřadnice po 4 hodinách měření

$a^*(26)$ ... kolorimetrická souřadnice na konci měření po 26 hodinách

### 9.3.4 Stanovení fotokatalytické účinnosti

Měření vzorků bylo provedeno podle části postupu ISO 22197-1. Jedná se o část, kdy je vzorek ve fotoreaktoru exponován UV zářením a proudí nad ním testovací plyn. Tato část je z hlediska přínosu informací o vzorku nejdůležitější. Proceduru lze popsat následovně:

Je připraven testovací plyn obohacením vzduchu o NO na požadovanou úroveň a požadovanou vlhkost. Po stabilizaci složení testovacího plynu je zahájeno dávkování testovacího plynu do reaktoru se vzorkem v požadovaném průtoku. Po nějakou dobu je testovací plyn dávkován bez toho, aby byl vzorek v reaktoru osvětlován UV zářením. Během tohoto kroku je sledována koncentrace NO v testovacím plynu. Vlivem adsorpce na povrch vzorku může dojít k poklesu koncentrace. Je-li splněn požadavek normy, je zahájen osvit vzorku. Pokud je vzorek fotokatalyticky aktivní, dojde k výraznému poklesu koncentrace NO v testovacím plynu. Po stanovené době je osvit a dávkování testovacího plynu do reaktoru ukončeno. Dále je po stanovenou dobu do reaktoru dávkován daný průtok čistého vzduchu, čímž je experiment ukončen.

Z hlediska požadavku normy byly dodrženy tyto podmínky:

Průtok testovacího plynu reaktorem	$3,0 \pm 0,15$ l/min
Koncentrace NO v testovacím plynu	$1,0 \pm 0,05$ ppm
Relativní vlhkost testovacího plynu	50 % (25 °C)
Intenzita osvitu UV (300-400 nm)	$10 \pm 0,5$ W/m <sup>2</sup>
Výška štěrbiny mezi krycím sklem a vzorkem	$5 \pm 0,5$ mm
Délka vzorku	$99,5 \pm 0,5$ mm
Šířka vzorku	$49,5 \pm 0,5$ mm

Postup byl modifikován z hlediska délky expozice vzorku s testovacím plynem:

Podle normy je vzorek umístěný v reaktoru exponován s testovacím plynem po dobu 30 minut od přenastavení vedení testovacího plynu. Pokud po této době dosáhne koncentrace NO alespoň 90 % hodnoty, která byla naměřena při vedení testovacího plynu mimo reaktor přes obchvatnou větev, je zahájen osvit. V našem případě probíhala tato fáze pouze 15 minut. Pak je zahájen osvit vzorku. Dle normy by měl trvat 5 hodin. V našem případě pro urychlení experimentů byla délka osvitu

zkrácena na 60 minut. Po ukončení osvitů bylo ukončeno dávkování testovacího plynu a reaktor byl proplachován čistým vzduchem.

### 9.3.5 Zrychlené zkoušky trvanlivosti

Vzorky byly vloženy do QUV panelu a intenzita UV záření byla nastavena na  $0,86 \text{ W/m}^2$  (měřena při 340nm). Vzorky byly po vložení do přístroje podrobeny cyklování, kdy byl pravidelně střídán osvit a kondenzace vzdušné vlhkosti. Jeden cyklus se skládá z 8 hodin osvitů (o intenzitě  $0,86 \text{ W/m}^2$  při 340nm) a 4 hodin samovolné kondenzace. Doba testování byla 540hod. což odpovídá přibližně 8 měsícům testování na povětrnosti v reálných podmínkách (1000 hod. testování odpovídá cca 1,139 roku). Změny oproti referenčnímu vzorku probíhají u testovaných odstínů stejně, mění se  $L^*$  souřadnice, která určuje světllost, tak že  $L^*$  narůstá (vzorky světlají), což lze vidět i z přiložené fotodokumentace před a po vystavení působení UV záření. V červeném odstínu probíhá mírná změna i v barevných souřadnicích.

K vyhodnocení světlostalosti pigmentů se využívá tabulka (viz níže), obsahující popis odpovídající výsledným barevným odchylkám  $DE^*$  vzorků vystavených na povětrnostní stanici po dobu 2 let.

*Tabulka 2: Stupnice světlostalosti pro reálný test*

<b>Celkové <math>DE^*</math> po dvou letech</b>	<b>Hodnocení světlostalosti</b>
0-3	Vysoce stabilní
3-6	Stabilní
6 a více	Nestabilní

## 10 Výsledky

Na následujících stranách budou postupně uvedeny veškeré výsledky prováděných zkoušek. Podrobnější zhodnocení bude obsaženo v diskuzi výsledků.

### 10.1 Měření přídržnosti

Měření přídržnosti je u cementových stěrek zásadní zkouškou. Podle technického listu je pro zvolenou neupravovanou cementovou stěrku stanovena třída pevnosti R3 s minimální hodnotou přídržnosti 1,5MPa. V následujících tabulkách jsou obsaženy nejprve dosažené výsledné hodnoty přídržnosti včetně popsání způsobu porušení vzorku nejprve pro vzorky uložené v laboratoři, dále pak pro vzorky uložené ve venkovním prostředí, vzorky uložené v laboratoři podrobené zmrazování, vzorky uložené ve venkovním prostředí podrobené zmrazování a následně vzorky, které byly opatřeny hydrofobizačním uzavíracím nátěrem a podrobené zrazování. V další tabulce jsou obsaženy fotografie znázorňující místo porušení vzorku. Rozdíl v dosažených hodnotách přídržnosti pro jednotlivé receptury v závislosti na uložení vzorku, úpravě hydrofobizačním nátěrem a případném zmrazování je pro větší přehlednost vyjádřen graficky na konci podkapitoly.

*Tabulka 3: Označení vzorků*




Označení vzorků	
A	Referenční vzorek
B	S přídavkem TP303 (červený pigment)
C	S přídavkem Y710 (žlutý pigment)
D	S přídavkem B630 (černý pigment)
E <sub>1%</sub>	S přídavkem PK20A (TiO <sub>2</sub> , dávka 1%)
E <sub>5%</sub>	S přídavkem PK20A (TiO <sub>2</sub> , dávka 5%)
E <sub>10%</sub>	S přídavkem PK20A (TiO <sub>2</sub> , dávka 10%)




## Vzorky uložené v laboratoři


Tabulka 4: Výsledky měření přídržnosti vzorků uložených v laboratoři

Označení vzorku	Odtřhová síla [kN]	Přídržnost [MPa]	Místo porušení
A	2,79	1,395	100% beton/stěrka
	2,45	1,225	100% beton/stěrka
B	3,11	1,555	100% beton/stěrka
	3,52	1,76	70% stěrka/beton 30% beton (hl. 2mm)
C	2,58	1,29	100% beton/stěrka
	2,85	1,425	100% beton/stěrka
D	2,74	1,37	100% beton/stěrka
	2,95	1,475	50% stěrka/beton 50% beton (hl. 1mm)
E <sub>1%</sub>	3,45	1,725	100% beton/stěrka
	3,84	1,92	80% stěrka/beton 20% beton (hl. 2mm)
E <sub>5%</sub>	4,1	2,05	100% stěrka/beton
	3,8	1,9	100% stěrka/beton
E <sub>10%</sub>	3,45	1,725	100% lepidlo
	4,31	2,155	100% stěrka/beton

*Tabulka 5: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti*

Označení vzorku	Místo porušení
A	
B	
C	

Označení vzorku	Místo porušení
D	
E <sub>1%</sub>	
E <sub>5%</sub>	

Označení vzorku	Místo porušení
E <sub>10%</sub>	








## Vzorky vystavené povětrnostním vlivům po dobu 3 měsíců

*Tabulka 6: Výsledky měření přídržnosti u vzorků vystavených povětrnostním vlivům po dobu 3 měsíců*

Označení vzorku	Odtrhová síla [kN]	Přídržnost [MPa]	Místo porušení
A	5,2	2,6	100% beton/stěrka
	4,91	2,455	100% beton/stěrka
B	4,8	2,4	40% stěrka/beton 60% beton (hl. 2mm)
	3,92	1,96	10% stěrka/beton 90% beton (hl. 2mm)
C	4,57	2,285	20% stěrka/beton 80% beton (hl. 2mm)
	3,92	1,96	100% beton (hl. 2mm)
D	3,52	1,76	100% beton (hl. 2mm)
	2,69	1,345	100% beton (hl. 2mm)
E <sub>1%</sub>	3,97	1,985	100% beton/stěrka
	3,97	1,985	100% beton/stěrka

*Tabulka 7: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti*

Označení vzorku	Místo porušení
A	
B	
C	




Označení vzorku	Místo porušení
D	
E <sub>1%</sub>	

## Vzorky podrobené 50-ti zmrazovacím cyklům





Tabulka 8: Výsledky měření přídržnosti u vzorků podrobených 50-ti zmrazovacím cyklům

Označení vzorku	Odtřhová síla [kN]	Přídržnost [MPa]	Místo porušení
A	3,69	1,845	20% stěrka 80%stěrka/beton
B	2,87	1,435	100% povrch stěrky
C	0,1	0,05	100% stěrka/beton
D	2,06	1,03	30% stěrka/beton 70% beton (hl. 2mm)
E <sub>1%</sub>	3,5	1,75	100% beton (hl. 2mm)
E <sub>5%</sub>	3,2	1,6	100% beton/stěrka
	2,19	1,095	60% stěrka/beton 40% beton (hl. 2mm)
E <sub>10%</sub>	3,18	1,59	100% beton/stěrka
	2,72	1,36	100% beton/stěrka

*Tabulka 9: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti*

Označení vzorku	Místo porušení
A	
B	
C	






Označení vzorku	Místo porušení
D	
E <sub>1%</sub>	
E <sub>5%</sub>	
E <sub>10%</sub>	

**Vzorky vystavené povětrnostním vlivům po dobu 3 měsíců podrobené 50-ti  
zmrazovacím cyklům**



*Tabulka 10: Výsledky měření přídržnosti u vzorků vystavených povětrnostním  
vlivům po dobu 3 měsíců a podrobených 50-ti zmrazovacím cyklům*

Označení vzorku	Odtrhová síla [kN]	Přídržnost [MPa]	Místo porušení
A	5,01	2,505	100% beton/stěrka
	4,81	2,405	100% beton/stěrka
B	4,26	2,13	10% stěrka/beton 90% beton (hl. 2mm)
	4	2	100% beton/stěrka
C	3,73	1,865	60% stěrka/beton 40% beton (hl. 2mm)
	3,6	1,8	80% stěrka/beton 20% beton (hl. 2mm)
D	6,63	3,315	40% stěrka/beton 60% beton (hl. 2mm)
	5,48	2,74	20% stěrka/beton 80% beton (hl. 2mm)
E <sub>1%</sub>	2,35	1,175	100% beton (hl. 3mm)
	3,24	1,62	100% beton (hl. 3mm)

*Tabulka 11: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti*

Označení vzorku	Místo porušení
A	
B	
C	






Označení vzorku	Místo porušení
D	
E <sub>1%</sub>	




**Vzorky vystavené povětrnostním vlivům po dobu 3 měsíců opatřené impregnačním nátěrem podrobené 50-ti zmrazovacím cyklům**

*Tabulka 12: Výsledky měření přídržnosti vzorků vystavených povětrnostním vlivům po dobu 3 měsíců, opatřených impregnačním nátěrem a vystavených 50-ti zmrazovacím cyklům*

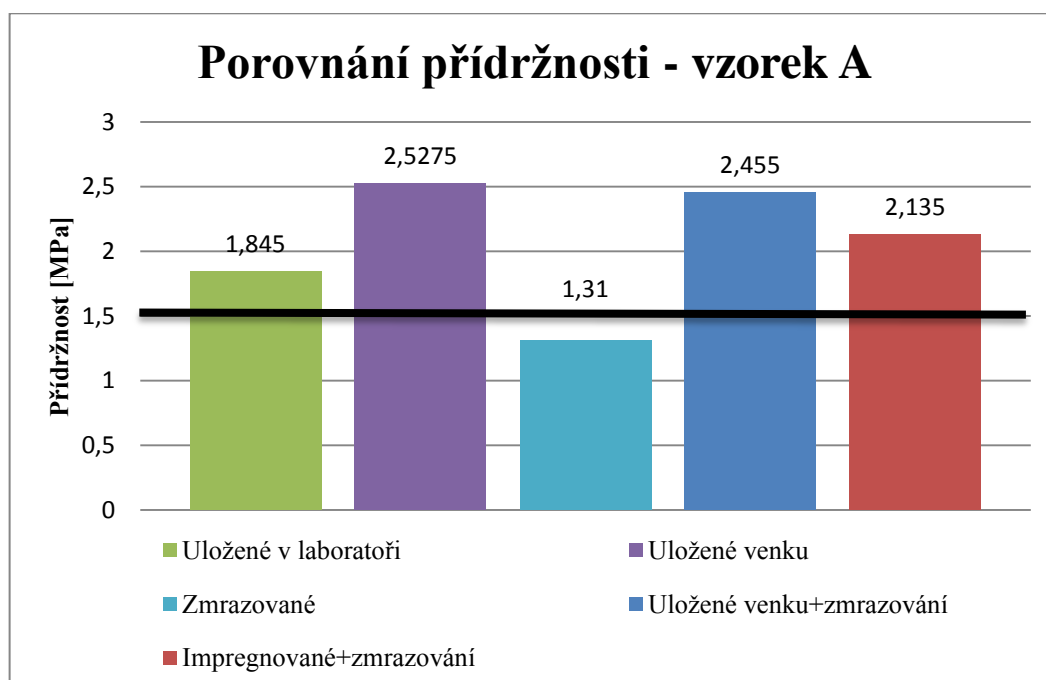
Označení vzorku	Odtrhová síla [kN]	Přídržnost [MPa]	Místo porušení
A	5,17	2,585	60% stěrka/beton 40% beton (hl. 2mm)
	3,37	1,685	100% beton/stěrka
B	4,18	2,09	100% beton (hl. 2mm)
	3,71	1,855	40% stěrka/beton 60% beton (hl. 2mm)
C	3,6	1,8	100% beton (hl. 2mm)
	3,29	1,645	100% beton (hl. 2mm)
D	5,3	2,65	100% beton (hl. 2mm)
	4,6	2,3	40% stěrka/beton 60% beton (hl. 2mm)
E <sub>1%</sub>	3,79	1,895	50% stěrka/beton 50% beton (hl. 2mm)
	4,05	2,025	20% stěrka/beton 80% beton (hl. 2mm)
E <sub>5%</sub>	2,74	1,37	100% beton/stěrka
	3,58	1,79	100% beton/stěrka

*Tabulka 13: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti*

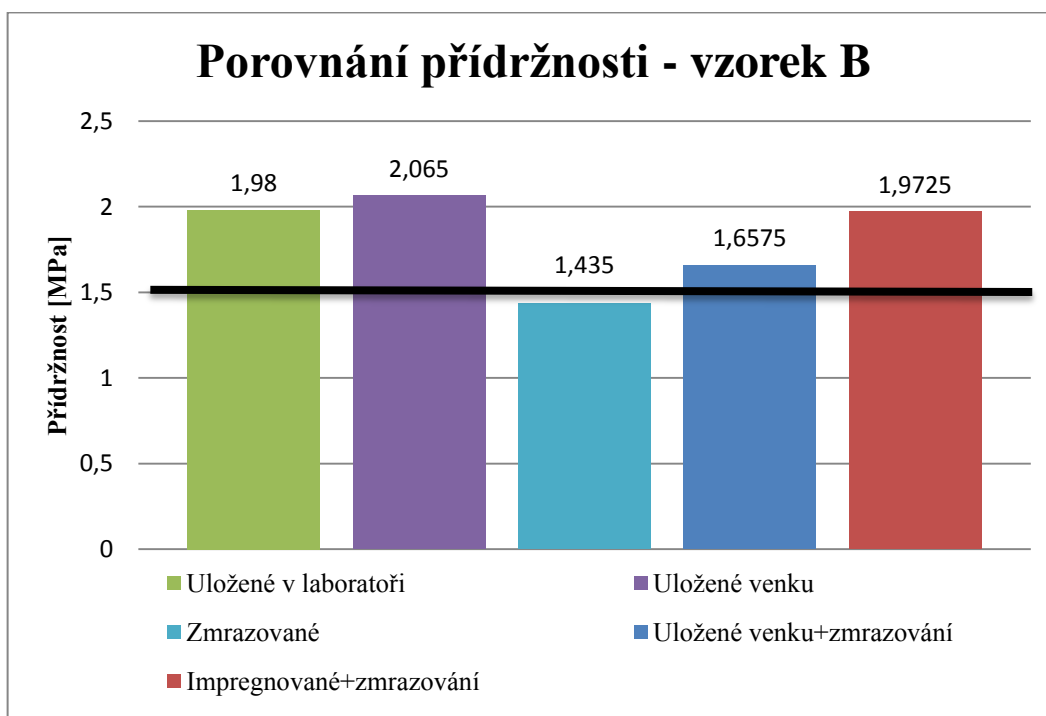
Označení vzorku	Místo porušení
A	
B	
C	

Označení vzorku	Místo porušení
D	
E <sub>1%</sub>	
E <sub>5%</sub>	

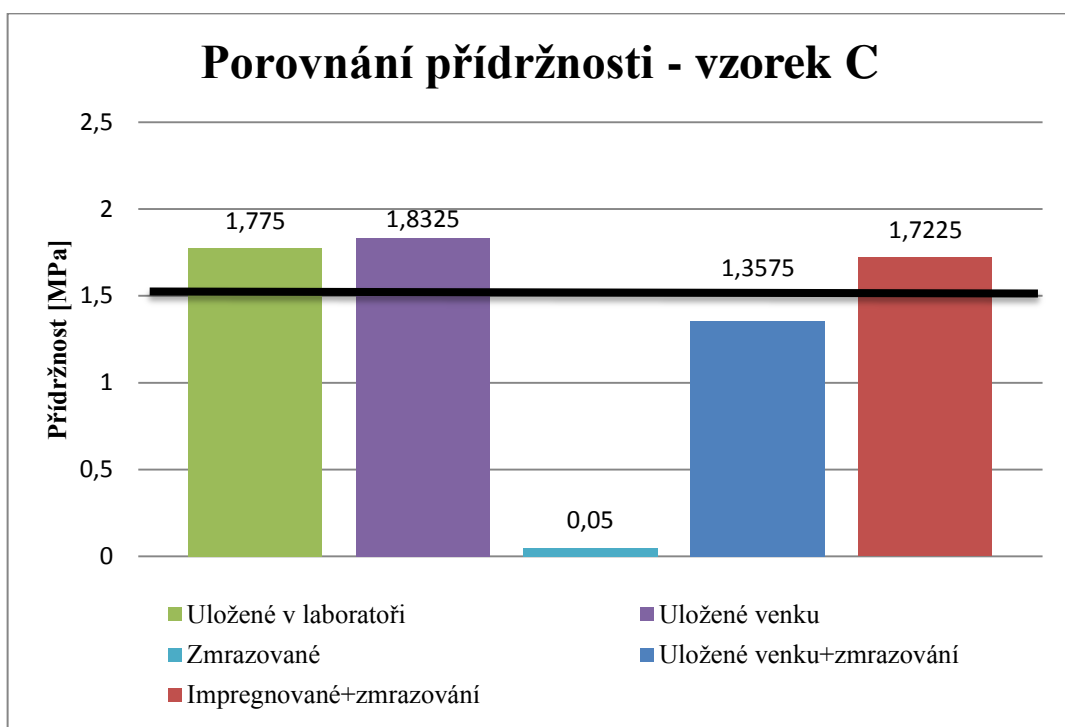
## Grafické srovnání přídržnosti zkoušených vzorků



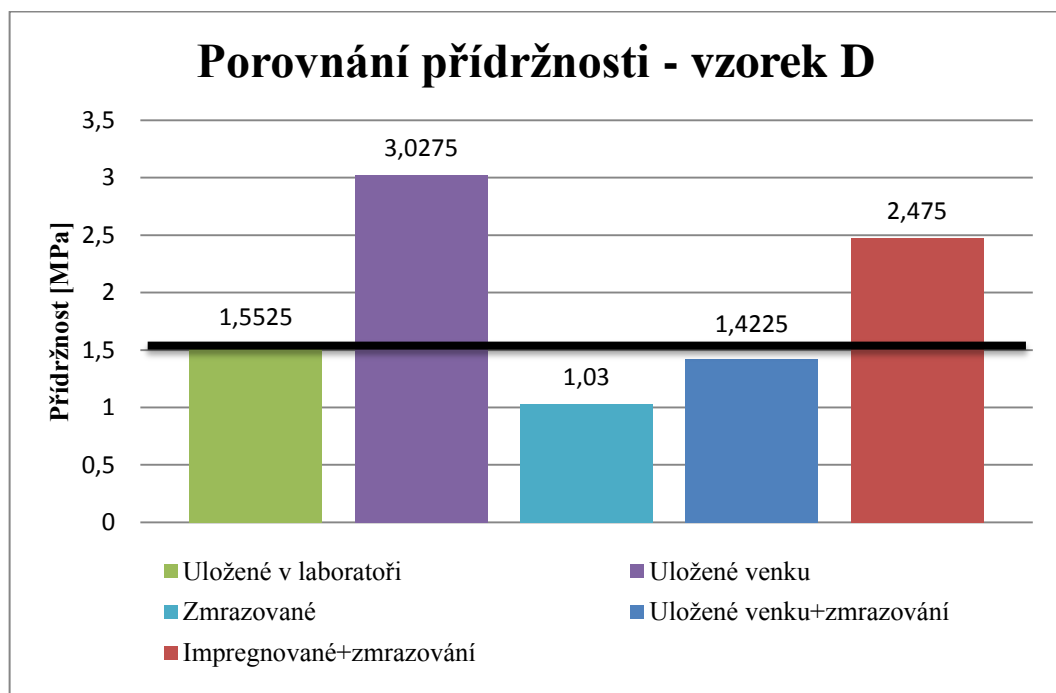
*Graf 1: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti referenčního vzorku*



*Graf 2: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti červeného vzorku B*

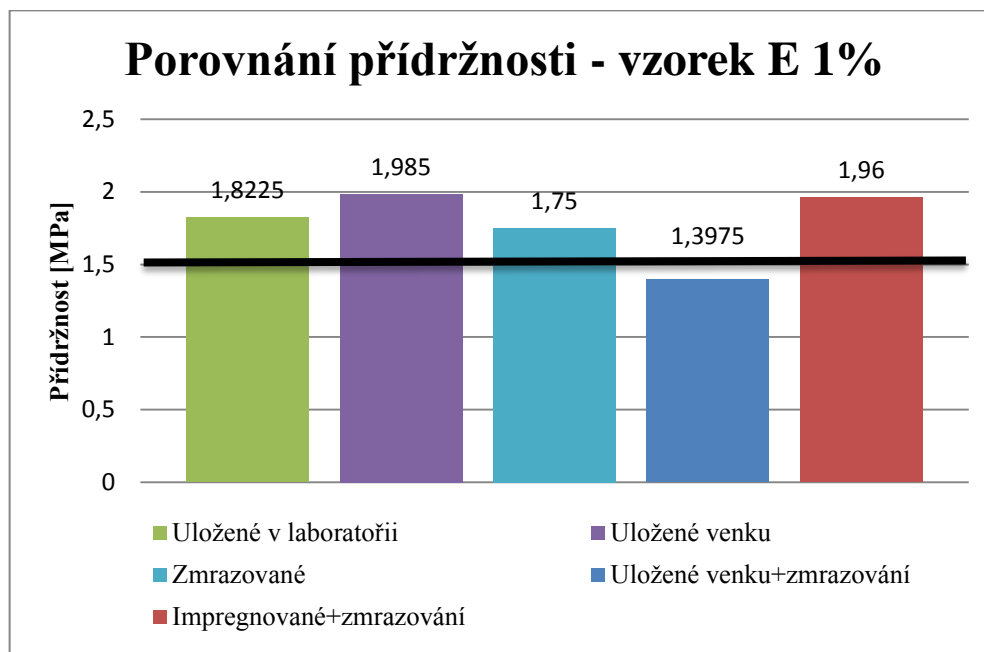


Graf 3: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti žlutého vzorku C

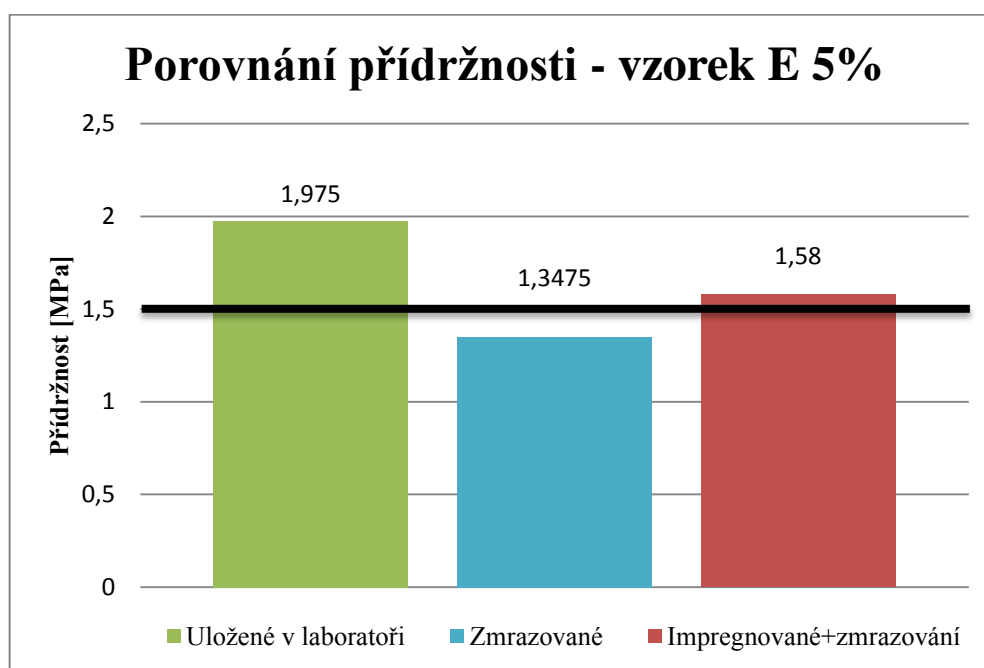


Graf 4: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti černého vzorku D

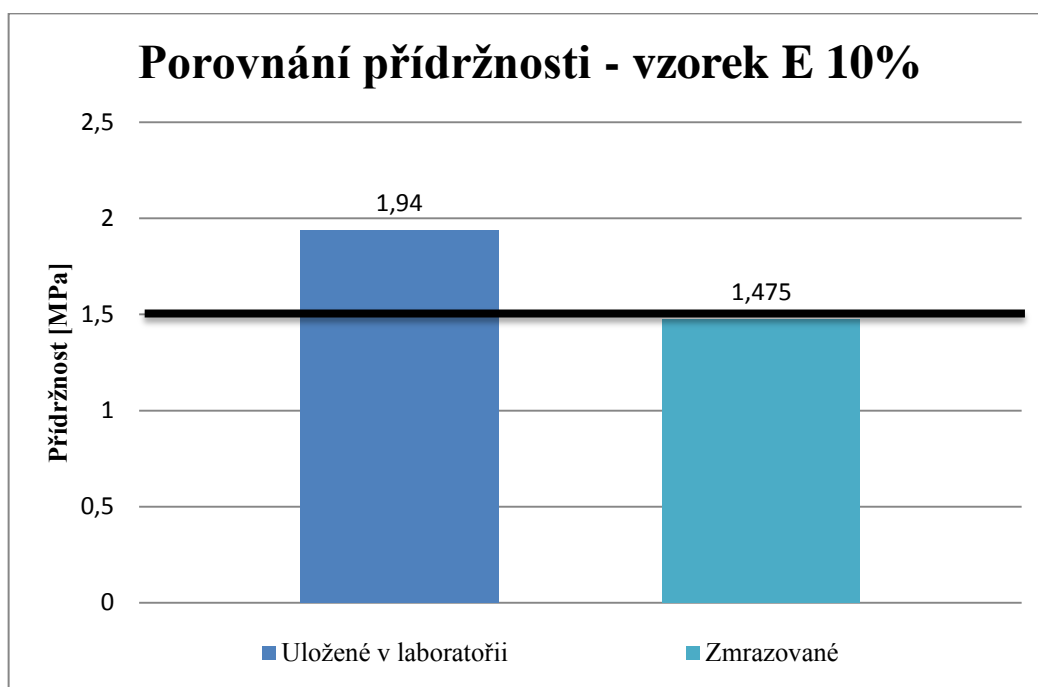




Graf 5: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti vzorku E s 1% TiO<sub>2</sub>



Graf 6: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti vzorku E s 5% TiO<sub>2</sub>











Graf 7: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti vzorku E s 10%  $\text{TiO}_2$



## 10.2 Proměření barevné difference

*Tabulka 14: Vizuální porovnání vzorků na začátku a po 26 hodinách testování proměření barevné difference*

Označení vzorku	Start	26 hodin
Ref		
E 1%		
E 5%		

Označení vzorku	Start	26 hodin
E 10%		

*Tabulka 15: Výsledky proměření barevné difference referenčního vzorku a vzorku s obsahem 1%, 5% a 10%  $\text{TiO}_2$*

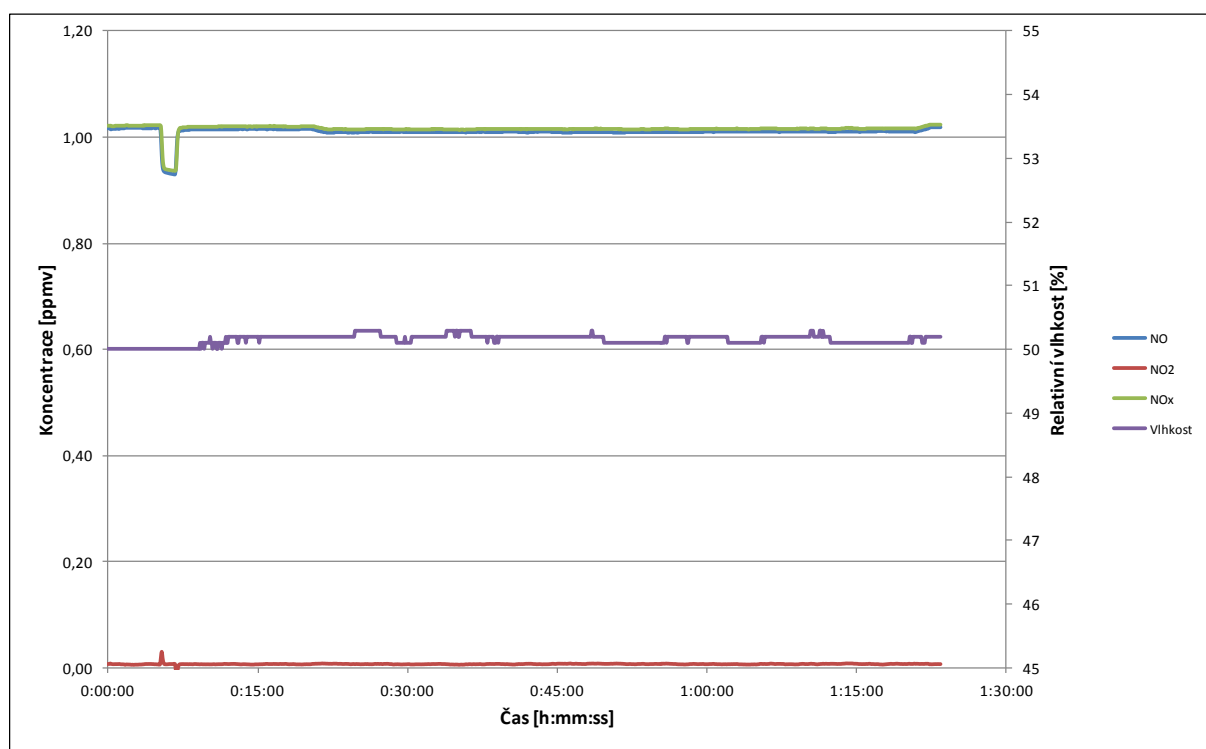
Vzorek č.	$\text{TiO}_2$	$a^*$	$a^*(4)$	$R(4)$	$a^*(26)$	$R(26)$	Fotoaktivní dle UNI 11259
<b>Referenční</b>	<b>bez</b>	7,23	7,19	<b>0,55</b>	7,09	<b>1,94</b>	NE
<b>E 1%</b>	<b><math>\text{TiO}_2</math> 1%</b>	6,04	5,00	<b>17,22</b>	3,85	<b>36,26</b>	NE
<b>E 5%</b>	<b><math>\text{TiO}_2</math> 5%</b>	6,18	4,08	<b>33,98</b>	3,36	<b>45,63</b>	NE
<b>E 10%</b>	<b><math>\text{TiO}_2</math> 10%</b>	7,01	2,09	<b>70,19</b>	1,31	<b>81,31</b>	ANO

Pozn.

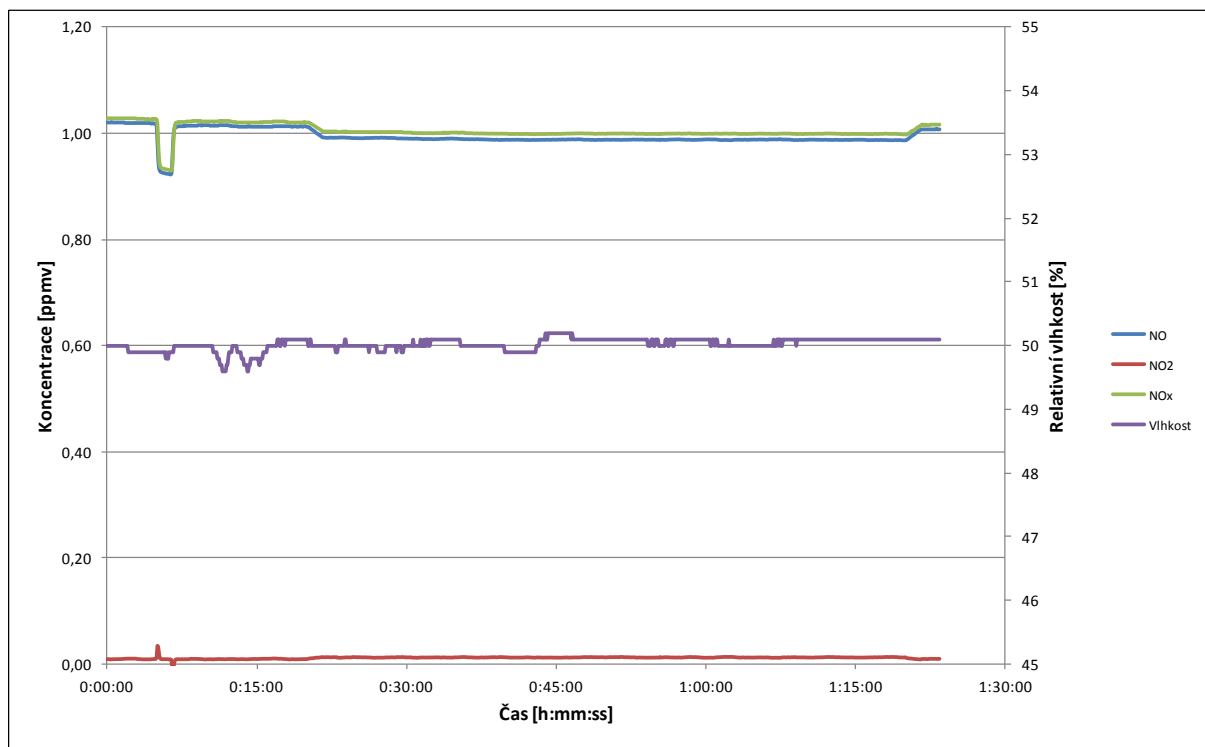
Hodnoty  $R(4)$  a  $R(26)$  udávají procentuální odbarvení vzorku. Pro vyhodnocení materiálu za fotoaktivní ve vztahu k rhodaminu musí vyjít hodnoty  $R(4) > 20$  a  $R(26) > 50$ .

### 10.3 Stanovení fotokatalytické účinnosti

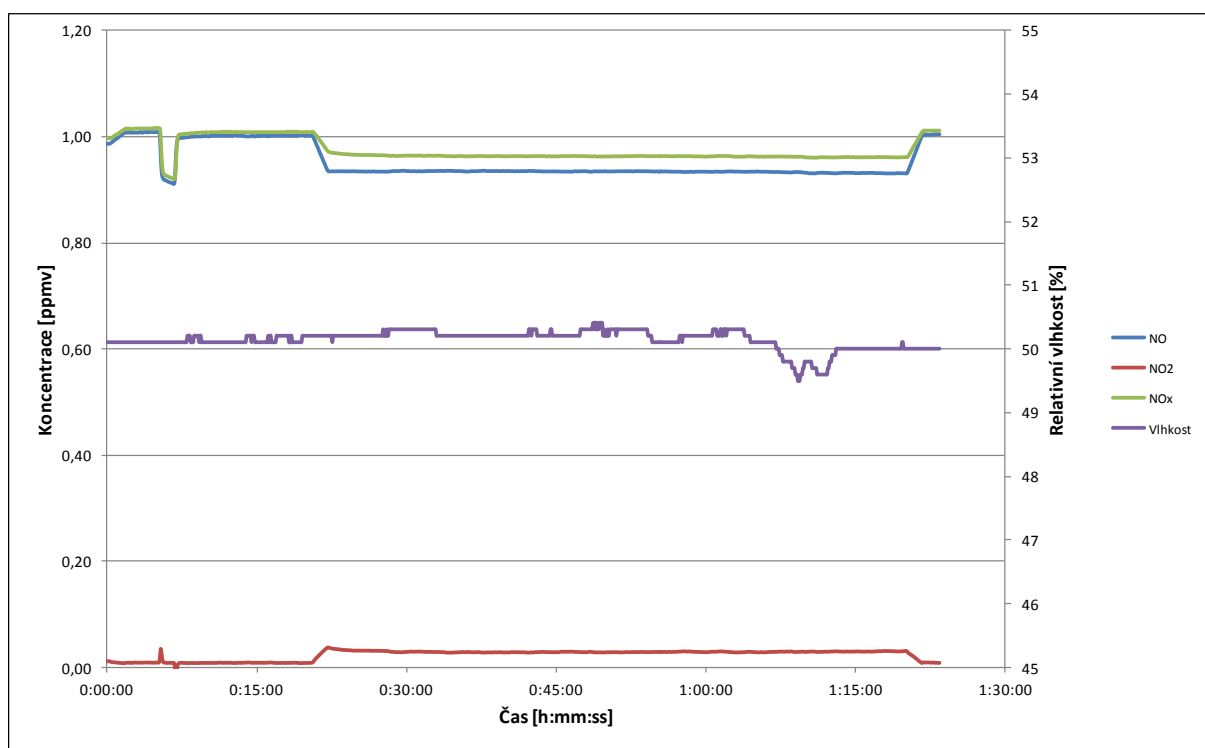
Při stanovování fotokatalytické účinnosti byl sledován pokles koncentrace NO v testovacím plynu při osvitu UV zářením. V následujících grafech je znázorněn průběh měření s poklesem/nárůstem koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{NO}_2$  v čase pro jednotlivé vzorky s obsahem 1%, 5% a 10%  $\text{TiO}_2$  z hmotnosti stěrky. Následně jsou v tabulce znázorněny dosažené změny koncentrací dosažené během jedné hodiny osvitů UV zářením včetně výpočtu průměrného stupně konverze  $\text{NO}_x$  v %.



Graf 8: Záznam průběhu koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{NO}_2$  během experimentu se vzorkem E s obsahem 1%  $\text{TiO}_2$ .



Graf 9: Záznam průběhu koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{NO}_2$  během experimentu se vzorkem E s obsahem 5%  $\text{TiO}_2$ .



Graf 10: Záznam průběhu koncentrací  $\text{NO}_x$  a  $\text{NO}_2$  během experimentu se vzorkem E s obsahem 10%  $\text{TiO}_2$ .

Tabulka 16: Vyhodnocení experimentu stanovení fotokatalytické účinnosti – schopnost konverze NO<sub>x</sub>

Vzorek	Odstraněné (-) a vzniklé (+) množství [μmol] během 1 hodiny osvitu			Průměrný stupeň konverze NO <sub>x</sub> [%]
	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	
E 1%	-0,0447	0,0032	-0,0415	0,51
E 5%	-0,1886	0,0258	-0,1628	1,98
E 10%	-0,5213	0,1619	-0,3594	4,43

## 10.4 Zrychlené zkoušky trvanlivosti

Vzorky byly vloženy do QUV-panelu, kde byl nastaven 12-ti hodinový cyklus:

- 8h osvitu (intenzity: 0,55W/m<sup>2</sup> - 340nm)
- 4h samovolná kondenzace

Po uvedených hodinách proběhlo změření barvy vzorku.

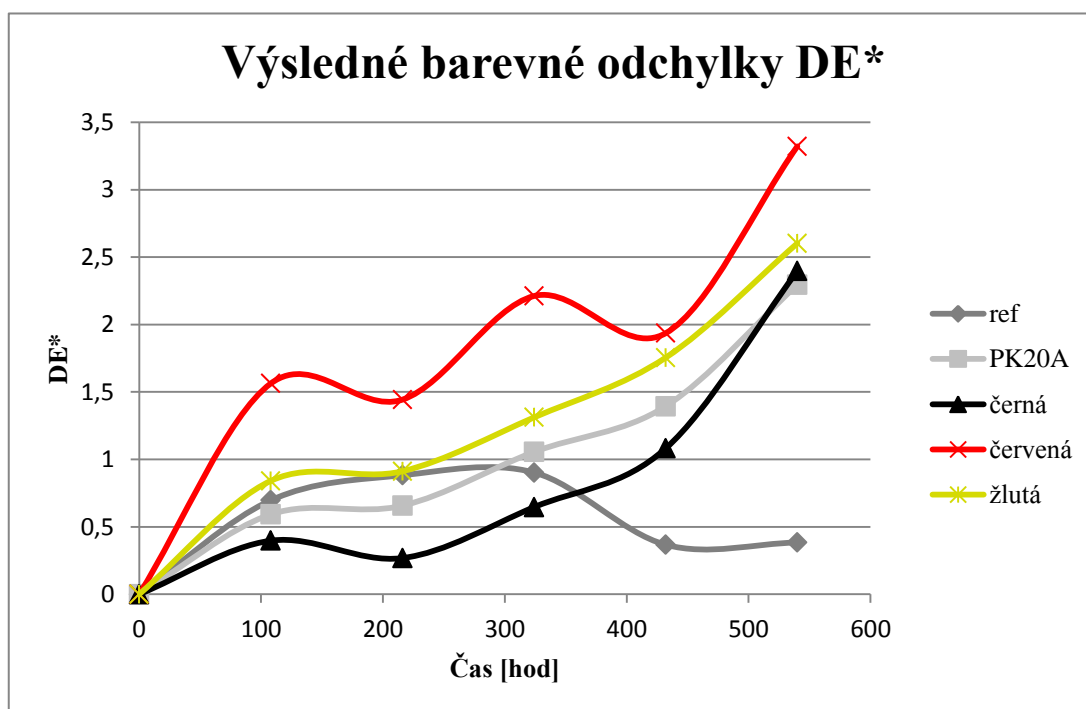
V následující tabulce č. 17 jsou zobrazeny naměřené hodnoty L\* označující světlost, a\* a b\* označující barevný odstín. V tabulce č. 18 jsou zobrazeny hodnoty výsledné barevné odchylky DE\* po 108, 216, 324, 432 a 540 hodinách. Pro lepší přehlednost jsou barevné odchylky jednotlivých vzorků v průběhu času znázorněny graficky.

Tabulka 17: Naměřené hodnoty v QUV panelu

ID	Doba expozice (hod)	L*	a*	b*	C*	h	dL*	da*	db*	dC*	dh*	DE*
M0-ref	0	64,66	-0,19	2,30	2,30	94,81						
M0- E 1%	0	64,40	-0,23	2,24	2,25	95,76						
M0-černá	0	46,43	0,02	-0,71	0,71	271,41						
M0- červená	0	46,44	19,04	11,06	22,02	30,14						
M0-žlutá	0	57,73	4,89	27,78	28,21	80,02						
M1-ref	108	64,02	-0,14	2,57	2,57	93,13	-0,64	0,05	0,27	0,27	-1,68	<b>0,70</b>
M1- E 1%	108	64,96	-0,14	2,41	2,42	93,21	0,56	0,09	0,17	0,17	-2,55	<b>0,59</b>
M1-černá	108	46,71	0,10	-0,44	0,45	282,20	0,28	0,08	0,27	-0,26	10,79	<b>0,40</b>
M1- červená	108	47,65	18,18	10,57	21,03	30,17	1,21	-0,86	-0,49	-0,99	0,03	<b>1,56</b>
M1-žlutá	108	58,34	4,79	27,21	27,63	80,02	0,61	-0,10	-0,57	-0,58	0,00	<b>0,84</b>
M2-ref	216	63,84	-0,13	2,62	2,62	92,82	-0,82	0,06	0,32	0,32	-1,99	<b>0,88</b>
M2- E 1%	216	65,05	-0,17	2,31	2,31	94,31	0,65	0,06	0,07	0,06	-1,45	<b>0,66</b>
M2-černá	216	46,56	0,10	-0,49	0,50	281,14	0,13	0,08	0,22	-0,21	9,73	<b>0,27</b>
M2- červená	216	47,52	18,18	10,64	21,07	30,34	1,08	-0,86	-0,42	-0,95	0,20	<b>1,44</b>
M2-žlutá	216	58,30	4,84	27,07	27,49	79,86	0,57	-0,05	-0,71	-0,72	-0,16	<b>0,91</b>
M3-ref	324	63,84	-0,12	2,67	2,67	92,58	-0,82	0,07	0,37	0,37	-2,23	<b>0,90</b>
M3- E 1%	324	65,45	-0,15	2,31	2,32	93,73	1,05	0,08	0,07	0,07	-2,03	<b>1,06</b>
M3-černá	324	47,07	0,09	-0,66	0,67	277,64	0,64	0,07	0,05	-0,04	6,23	<b>0,65</b>
M3- červená	324	48,34	18,12	10,40	20,89	29,85	1,90	-0,92	-0,66	-1,13	-0,29	<b>2,21</b>
M3-žlutá	324	58,92	4,74	27,25	27,66	80,12	1,19	-0,15	-0,53	-0,55	0,10	<b>1,31</b>
M4-ref	432	64,35	-0,14	2,49	2,49	93,19	-0,31	0,05	0,19	0,19	-1,62	<b>0,37</b>
M4- E 1%	432	65,79	-0,15	2,31	2,31	93,73	1,39	0,08	0,07	0,06	-2,03	<b>1,39</b>
M4-černá	432	47,51	0,07	-0,70	0,70	276,01	1,08	0,05	0,01	-0,01	4,60	<b>1,08</b>
M4- červená	432	48,11	18,23	10,51	21,04	29,95	1,67	-0,81	-0,55	-0,98	-0,19	<b>1,94</b>
M4-žlutá	432	59,44	4,79	27,40	27,82	80,09	1,71	-0,10	-0,38	-0,39	0,07	<b>1,75</b>
M5-ref	540	64,91	0,00	2,52	2,52	89,97	0,25	0,19	0,22	0,22	-4,84	<b>0,38</b>
M5- E 1%	540	66,69	-0,07	2,27	2,27	91,76	2,29	0,16	0,03	0,02	-4,00	<b>2,30</b>
M5-černá	540	48,80	0,01	-1,07	1,07	270,53	2,37	-0,01	-0,36	0,36	-0,88	<b>2,40</b>
M5- červená	540	49,37	17,88	10,01	20,50	29,24	2,93	-1,16	-1,05	-1,52	-0,90	<b>3,32</b>
M5-žlutá	540	60,33	4,98	27,84	28,28	79,85	2,60	0,09	0,06	0,07	-0,17	<b>2,60</b>




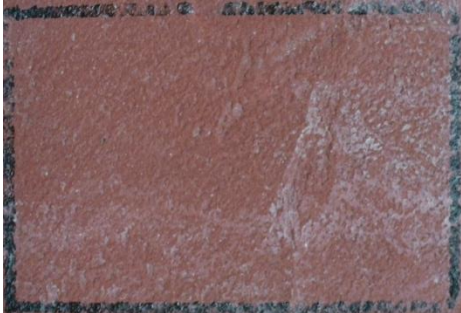


Tabulka 18: Výsledné hodnoty barevných odchylek DE\*

DE*	0 hod.	108 hod.	216 hod.	324 hod.	432 hod.	540 hod.
A - referenční	0	0,70	0,88	0,90	0,37	0,38
B - červená	0	1,56	1,44	2,21	1,94	3,32
C - žlutá	0	0,84	0,91	1,31	1,75	2,60
D - černá	0	0,40	0,27	0,65	1,08	2,40
E 1%	0	0,59	0,66	1,06	1,39	2,30


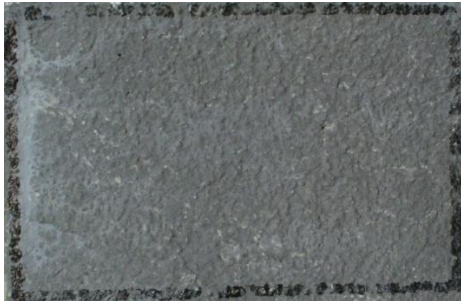




Graf 11: Grafické zobrazení výsledných barevných odchylek DE\*

*Tabulka 19: Vizuální porovnání vzorků před a po expozici v QUV panelu*

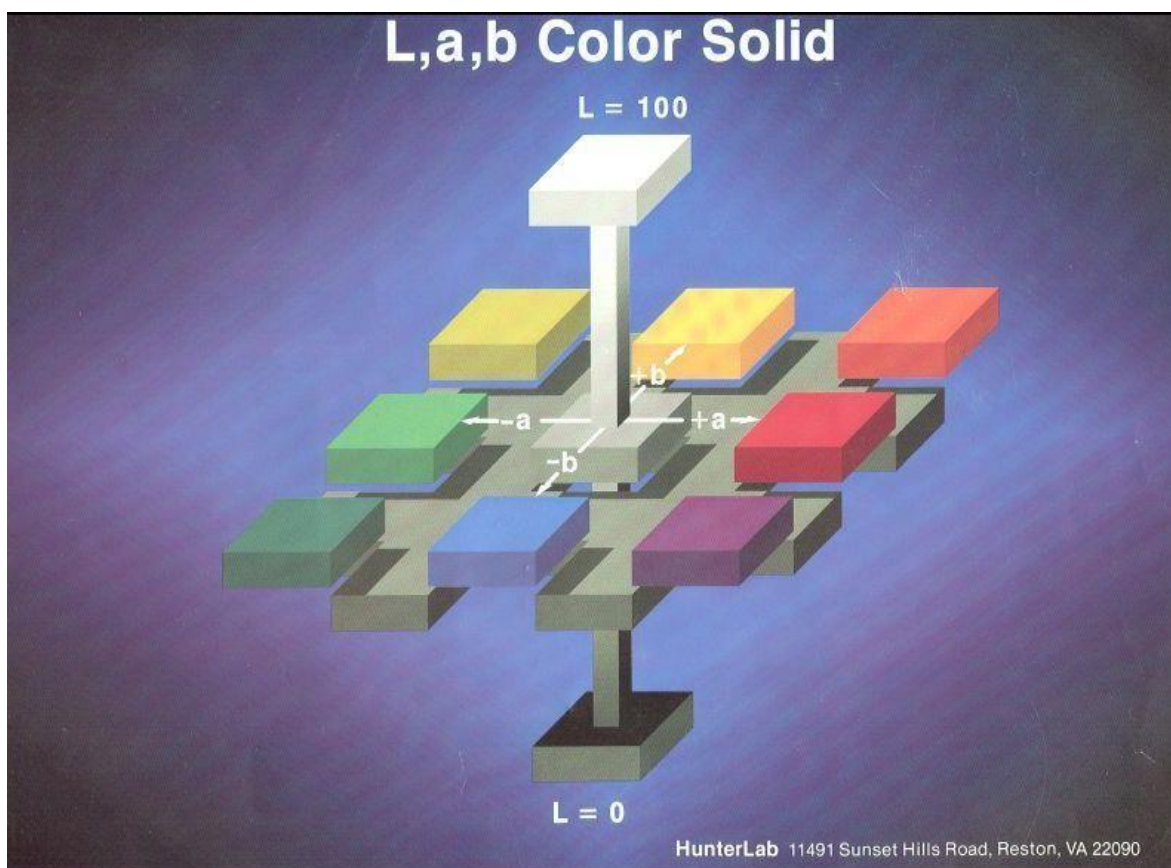
Označení vzorku	Před expozicí v QUV panelu	Po expozici v QUV panelu
A		
B		
C		



Označení vzorku	Před expozicí v QUV panelu	Po expozici v QUV panelu
D		
E 1%		

## 10.5 Porovnání barevných odchylek cementových stěrek

Byly porovnávány hodnoty barevných odchylek vzorků ošetřených impregnačním nátěrem, vzorků bez impregnačního nátěru a vzorků bez impregnačního nátěru podrobených 50-ti zmrazovacím cyklům. Byl použit referenční vzorek a vzorky s barevným pigmentem, u vzorku s obsahem  $\text{TiO}_2$  byl porovnáván pouze rozdíl mezi zmrazovaným a nezmrazovaným vzorkem.

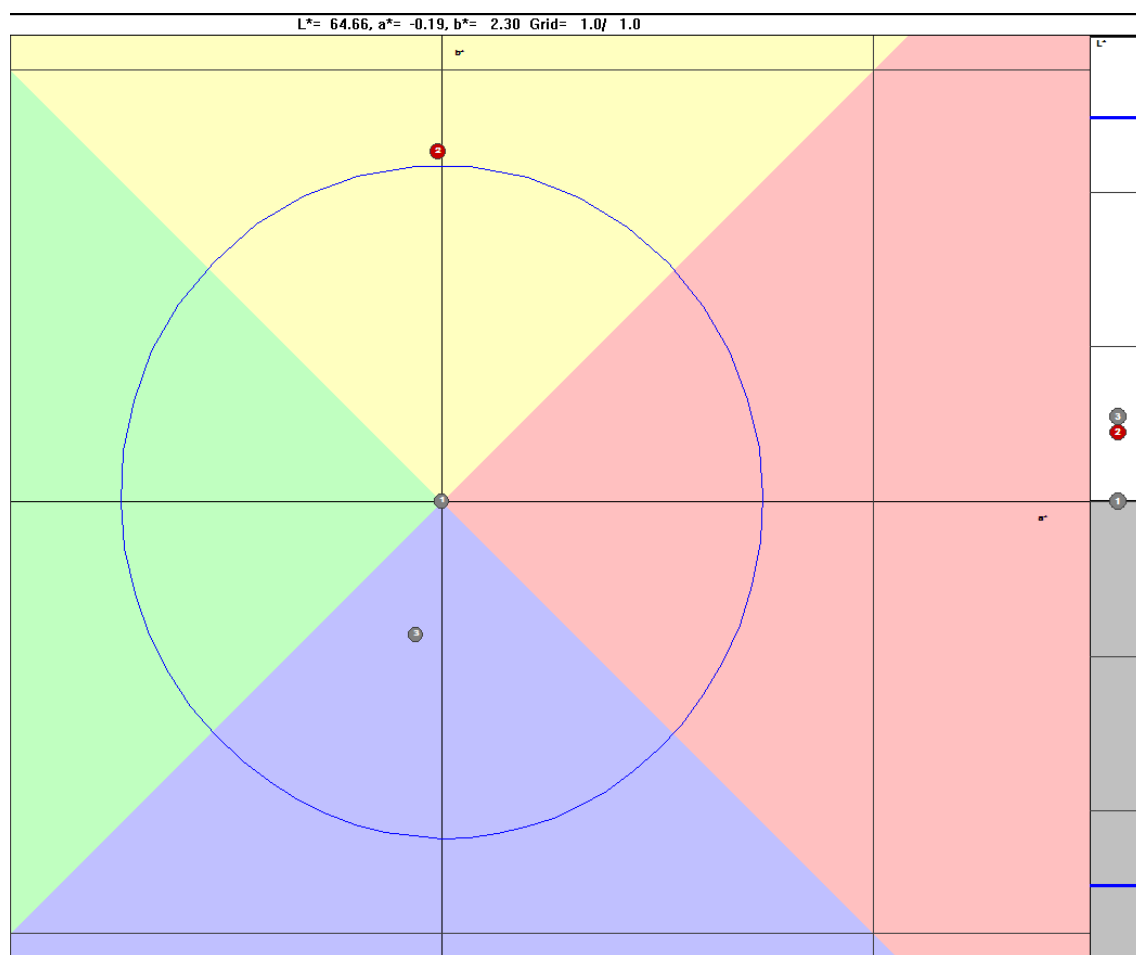


Obrázek 12: Barevný prostor CIELab, osa  $a$  a  $b$  zobrazuje odstín, vzdálenost od středu vyjadřuje sytost odstínu a hodnota  $L$  vyjadřuje světlost/tmavost odstínu.

## 10.5.1 Referenční vzorek A

Tabulka 20: Hodnoty barevných odchylek na ose  $a$ ,  $b$  a  $L$  impregnovaného, zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku.

	Označení vzorku	$L^*$	$a^*$	$b^*$	DEcmc	Avg Str.	DE*
Standard	ref	64,66	-0,19	2,30			
Tolerance +					CF=1		
Tolerance -					l:c=2		
Sample 2	ref mráz	65,11	-0,20	3,11	1,06	98,10	0,93
Sample 3	ref A impregnace	65,21	-0,25	1,99	0,46	95,53	0,63

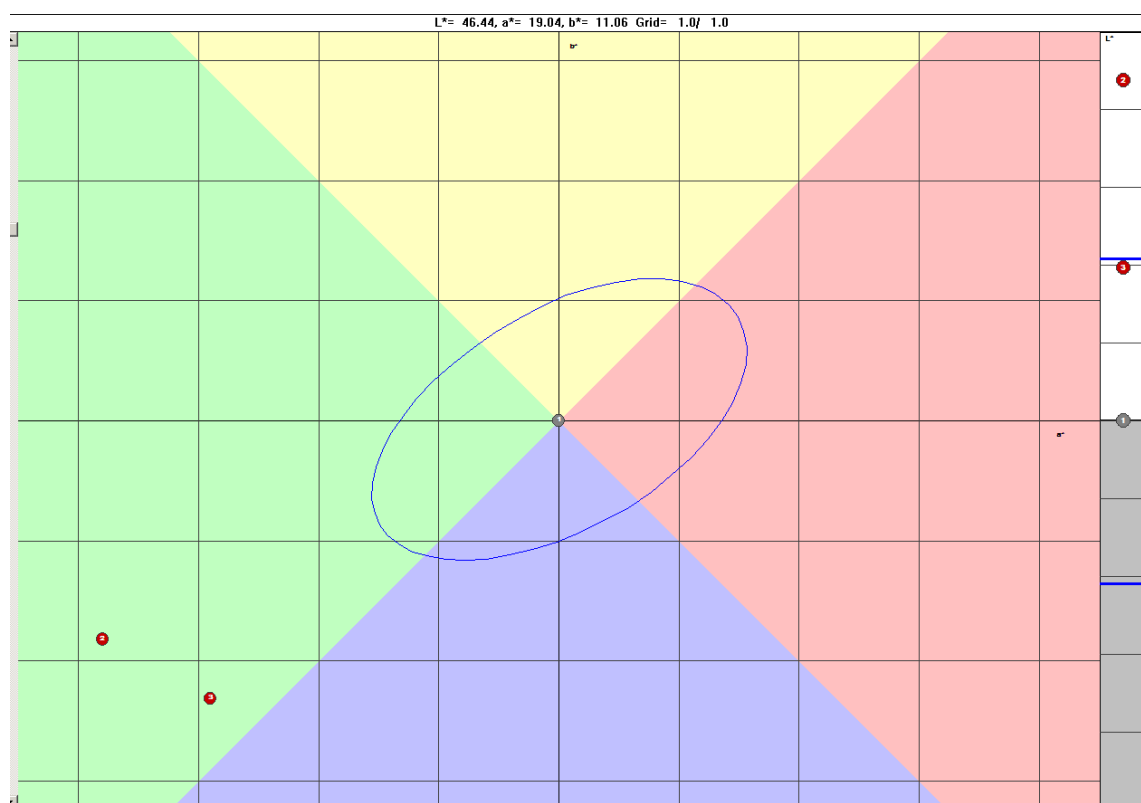


Graf 12: Grafické zobrazení barevných odchylek impregnovaného a zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Kružnice vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný.

## 10.5.2 Vzorek B s obsahem červeného pigmentu

Tabulka 21: Hodnoty barevných odchylek na ose  $a$ ,  $b$  a  $L$  impregnovaného, zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku.

	Označení vzorku	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$DE_{cmc}$	Avg Str.	$DE^*$
Standard	Červená B	46,44	19,04	11,06			
Tolerance +					CF=1		
Tolerance -					l:c=2		
Sample 2	červený B mráz	50,82	15,24	9,24	3,23	71,06	6,08
Sample 3	červený B impregnace	48,41	16,14	8,74	2,41	82,80	4,20

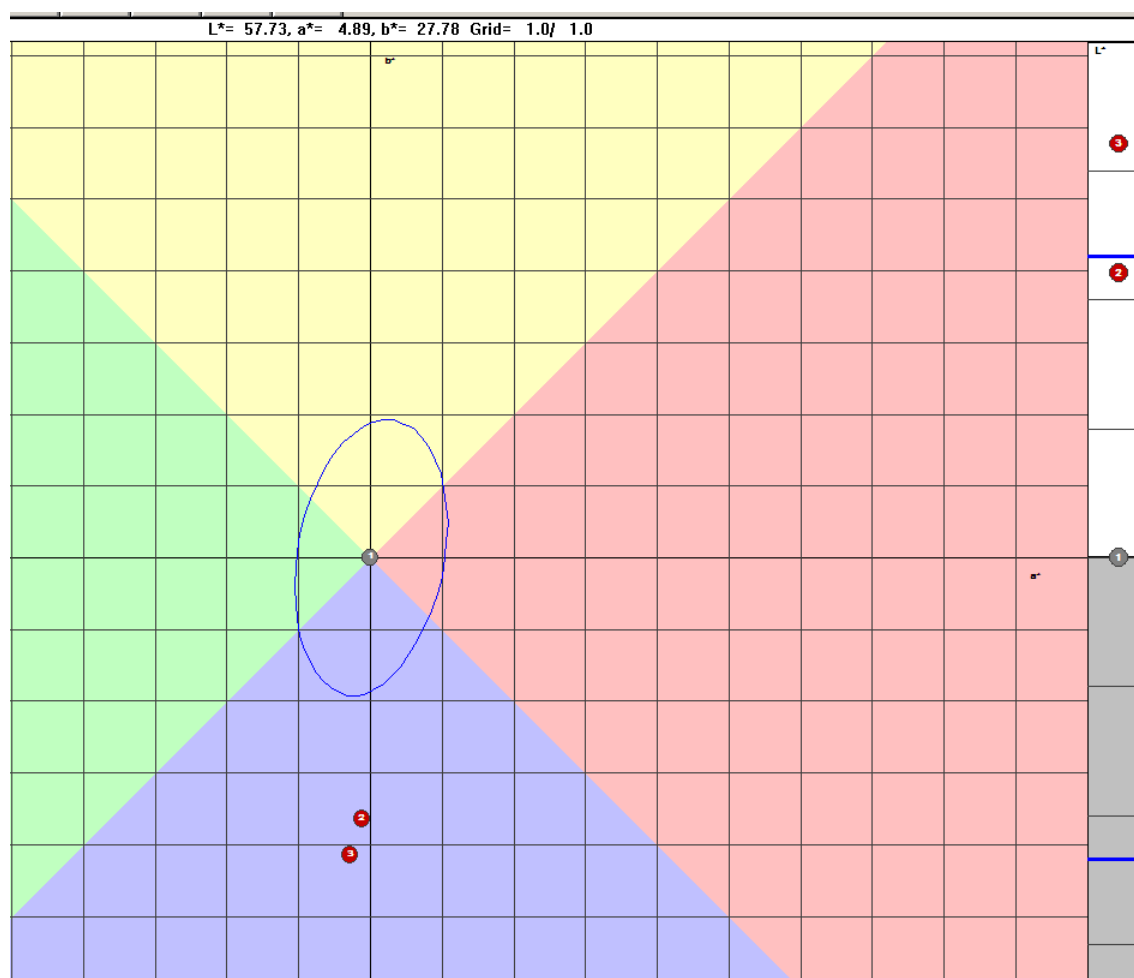


Graf 13: Grafické zobrazení barevných odchylek impregnovaného a zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Elipsa vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný.

### 10.5.3 Vzorek C s obsahem žlutého pigmentu

Tabulka 22: Hodnoty barevných odchylek na ose  $a$ ,  $b$  a  $L$  impregnovaného, zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku.

	Označení vzorku	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$DE_{cmc}$	Avg Str.	$DE^*$
Standard	<b>Žlutá C</b>	57,73	4,89	27,78			
Tolerance +					CF=1		
Tolerance -					l:c=2		
Sample 2	<b>žlutý C mráz</b>	59,94	4,76	24,14	2,14	77,47	4,26
Sample 3	<b>žlutý C impregnace</b>	60,94	4,59	23,63	2,56	71,35	5,25

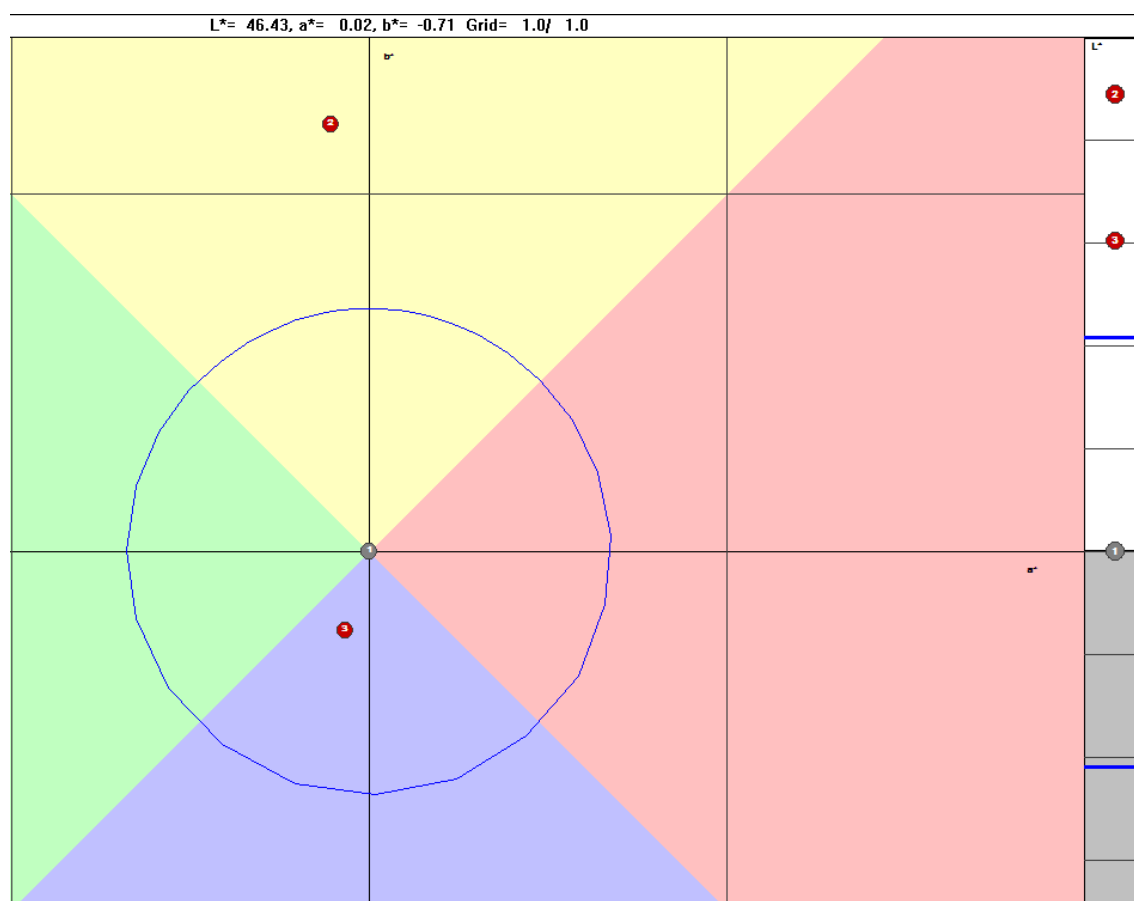


Graf 14: Grafické zobrazení barevných odchylek impregnovaného a zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Elipsa vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný.

### 10.5.4 Vzorek D s obsahem černého pigmentu

Tabulka 23: Hodnoty barevných odchylek na ose  $a$ ,  $b$  a  $L$  impregnovaného, zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku.

	Označení vzorku	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$DE_{cmc}$	Avg Str.	$DE^*$
Standard	Černá D	46,43	0,02	-0,71			
Tolerance +					CF=1		
Tolerance -					l:c=2		
Sample 2	černá D mráz	50,88	-0,09	0,49	2,76	75,89	4,60
Sample 3	černá D impregnace	49,46	-0,05	-0,93	1,49	81,71	3,04

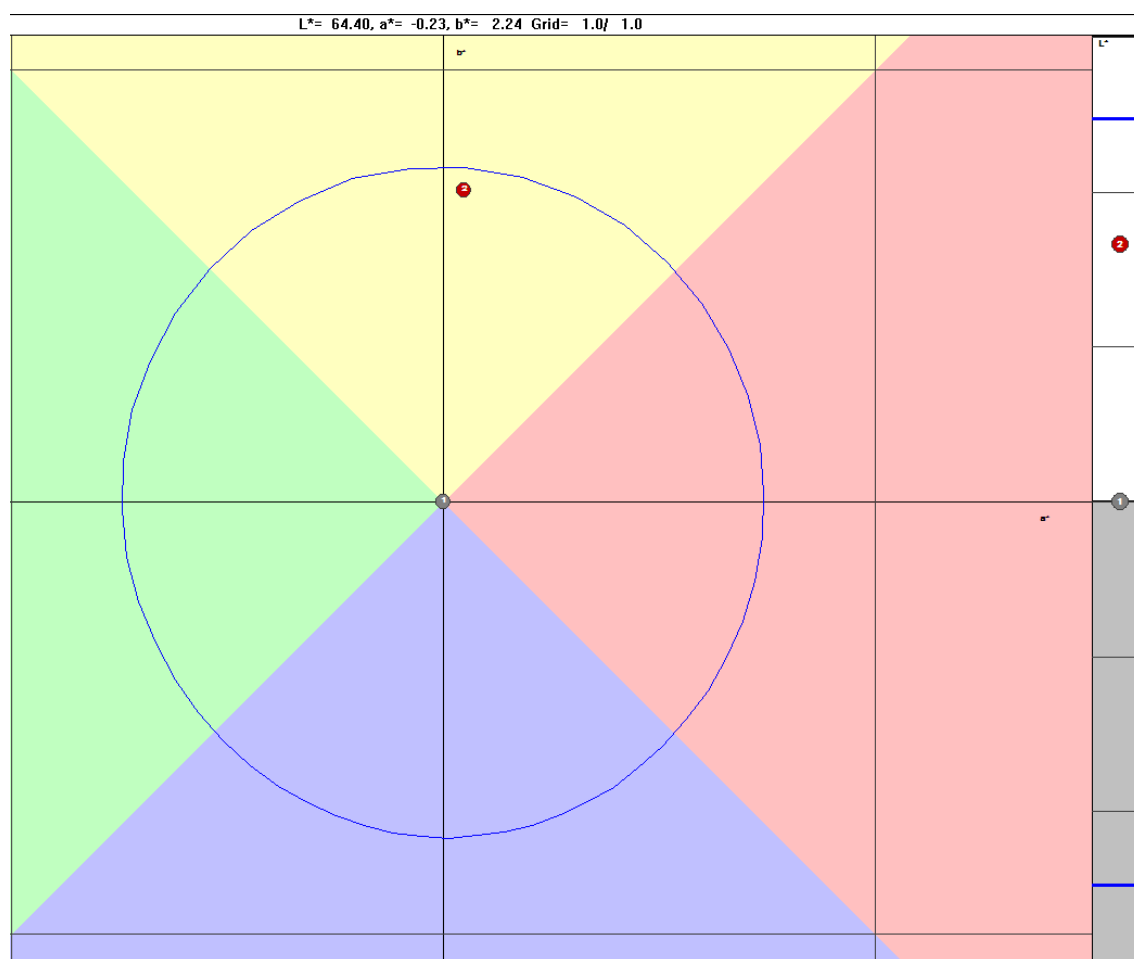


Graf 15: Grafické zobrazení barevných odchylek impregnovaného a zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Kružnice vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný.

### 10.5.5 Vzorek E s obsahem 1% TiO<sub>2</sub>

Tabulka 24: Hodnoty barevných odchylek na ose *a*, *b* a *L* zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku.

	Označení vzorku	L*	a*	b*	DEcmc	Avg Str.	DE*
Standard	<b>E 1%</b>	64,40	-0,23	2,24			
Tolerance +					CF=1		
Tolerance -					l:c=2		
Sample 2	<b>E 1% mráz</b>	66,06	-0,18	2,96	1,15	89,46	1,80



Graf 16: Grafické zobrazení barevných odchylek zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Kružnice vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný.

## 11 Diskuze výsledků

Cílem praktické části diplomové práce bylo vytvořit sérii receptur polymery modifikovaných stěrek a to stěrky probarvené anorganickými pigmenty a stěrky s práškovým fotokatalyticky aktivním materiálem jako alternativou alternativa pro zefektivnění a zlevnění realizace fotoaktivních betonových konstrukcí. Navržené dávkování pigmentů a fotoaktivního  $\text{TiO}_2$  bylo 1% z hmotnosti cementové stěrky, přičemž dávka  $\text{TiO}_2$  byla na základě průběžných výsledků zvýšena na 5% a 10%. Všechny připravené receptury byly nanášeny na plošné odřezky betonových dlažeb, které byly uloženy minimálně po dobu 28 dní. Poté byly použity pro měření přídržnosti cementové stěrky k podkladu, stanovení fotokatalytické účinnosti a proměření barevné difference u vzorků s obsahem fotoaktivního  $\text{TiO}_2$ , porovnání barevných odchylek a zrychlené zkoušky trvanlivosti.

Vyhotovené vzorky byly uloženy v různých prostředích, aby bylo možné sledovat vliv uložení na výsledné vlastnosti cementové stěrky. Dvě sady vzorků byly uloženy v laboratoři, zatímco zbytek vzorků byl uložen venku, kde na ně působily atmosférické vlivy. Následně byly porovnány hodnoty z měření přídržnosti cementové stěrky k podkladu a to i pro vzorky podrobené zmrazovacím cyklům. Přičemž se ukázalo, že sady vzorků uložené ve venkovním prostředí dosahovaly v průměru vyšších pevností než vzorky uložené v laboratoři, to platí i pro vzorky podrobené 50-ti zmrazovacím cyklům. Je to zřejmě způsobeno tím, že vzorky uložené ve venkovním prostředí byly vystaveny působení deště a došlo u nich tak k lepší hydrataci cementu.

Dále byl u stanovení přídržnosti pozorován vliv aplikace transparentního hydrofobního uzavíracího nátěru a následného zmrazování vzorku po dobu 50-ti zmrazovacích cyklů, kde se ukázalo, že vzorky opatřené hydrofobním nátěrem dosahovaly po zmrazování vyšších pevností než vzorky nijak neošetřené, což je způsobeno tím, že nátěr zamezil průniku vody do vzorku a jeho struktura nebyla zmrazováním tolik porušena. Podle technického listu je u použité cementové stěrky deklarována minimální hodnota přídržnosti 1,5 MPa, čehož ne všechny zvolené receptury dosáhly. Ve většině případů této pevnosti nedosahovaly vzorky porušené



zmrazovacími cykly. Místo porušení při měření přídržnosti bylo velmi často na rozhraní betonového podkladu a stěrky, bylo by tedy vhodné při nanášení stěrky nejprve upravit podklad nanesením adhezního můstku, aby byla zvýšena přídržnou k podkladu.

U cementové stěrky upravené přídavkem práškového fotoaktivního  $\text{TiO}_2$  byla proměřena barevná difference, kdy bylo zjišťováno, zda je vzorek fotoaktivní na základě odbarvení nátěru organického barviva při působení UV světla. Cementová stěrka byla upravena přídavkem 1%, 5% a 10% práškového  $\text{TiO}_2$  z hmotnosti stěrky. Jako fotoaktivní se dá označit pouze vzorek s obsahem 10%  $\text{TiO}_2$ .

Dále byla u vzorků s přídavkem fotoaktivního  $\text{TiO}_2$  stanovována fotokatalytická účinnost kdy byl vzorek ve fotoreaktoru exponován UV zářením a proudil nad ním testovací plyn s obsahem  $\text{NO}$ . Nejúčinnější byl vzorek s obsahem 10%  $\text{TiO}_2$ , u kterého bylo dosaženo téměř 5% konverze  $\text{NO}_x$ . Lepších výsledků by bylo zřejmě možno dosáhnout úpravou povrchu stěrky, aby byla co nejvíce zvětšena kontaktní plocha vzorku.

Při zrychlené zkoušce trvanlivosti byly vzorky vystaveny působení UV záření a kondenzaci vzdušné vlhkosti v QUV panelu, který simuluje působení povětrnostních vlivů odpovídající vystavení vzorků na povětrnostní stanici po dobu 2 let. Následně byly porovnány dosažené změny barevnosti a tím byla vyhodnocena světlostálost vzorku. Nejodolnější byl referenční vzorek stěrky, u kterého nedošlo k téměř žádné změně. Stěrky se žlutým a černým pigmentem a s obsahem  $\text{TiO}_2$  dosáhly vcelku podobných hodnot světlostálosti a dle vyhodnocovací tabulky se dají označit za vysoce stabilní. Nejhorších vlastností dosáhl vzorek s červeným barvivem, který se dá označit pouze za stabilní.

Nakonec byly jednotlivé vzorky cementových stěrek porovnány z hlediska vlivu aplikace transparentního hydrofobizačního uzavíracího nátěru a degradace vzorku při zmrazování na výsledné barevné změny oproti vzorku nijak neupravovanému. Při zkoušce se hodnotily změny barevných souřadnic vzorku a posuzovalo se, zda se dá vzorek považovat za barevně srovnatelný se vzorkem nijak neupraveným. Jako barevně srovnatelný se dá co do světlosti i barevného odstínu, se dá považovat zmrazovaný vzorek s obsahem  $\text{TiO}_2$  a referenční vzorek stěrky jak s použitím impregnačního nátěru tak vzorek zmrazovaný. Největších barevných změn oproti neupravenému vzorku dosahovaly vzorky s použitím červeného barviva.

Jelikož by v laboratorních podmínkách byla realizace reliéfních obtisků a vymývání povrchu cementové stěrky obtížná, byly tyto možnosti povrchové úpravy zváženy pouze v rovině řešerše v teoretické části práce.

## 12 Závěr

V této diplomové práci byly popsány způsoby modifikace cementových stěrek polymery, v dalších kapitolách bylo pojednáno o pigmentech, oxidu titaničitém a principu fotokatalýzy, trvanlivosti cementových stěrek a možnosti povrchových úprav stěrky vymýváním a reliéfními obtisky.

Praktická část práce byla věnována přípravě sérií receptur polymery modifikovaných stěrek a to stěrky probarvené anorganickými pigmenty a stěrky s fotokatalyticky aktivním materiálem. Bylo třeba ověřit možnost aplikace práškových fotokatalyzátorů, jako alternativa pro zefektivnění a zlevnění realizace fotoaktivních betonových konstrukcí. Fotokatalyzátor byl aplikován ve třech různých dávkách 1%, 5% a 10% z hmotnosti stěrky a jako fotoaktivní se dá označit pouze vzorek s obsahem 10%  $\text{TiO}_2$ . Účinnost fotokatalyzátorů by bylo možné zvýšit buď vyšší dávkou, nebo úpravou povrchu, aby bylo dosaženo co největší kontaktní plochy. Následně bylo nutno zhodnotit vliv uzavíracích transparentních nátěrů pro barevné stěrky za účelem pozdvižení sytosti odstínu a zlepšení trvanlivosti z čehož vyplývá, že použitím nátěru se zvyšuje odolnost proti mrazu a zároveň nedochází k takovým barevným změnám vlivem působení UV záření. U všech vyhotovených receptur byla ověřena přídržnost a trvanlivost. Většina vzorků splňovala požadavek na minimální přídržnost deklarovanou výrobcem neupravené stěrky 1,5MPa, vystavení vzorku působení zmrazovacích cyklů mělo na přídržnost negativní vliv a to zejména u vzorků, které zrály v prostředí laboratoře. Co se týče barevných změn, dosahovaly nejhorších výsledků vzorky s použitím červeného barviva, oproti jiným použitým barvivům má zřejmě červený pigment největší tendence k rychlému stárnutí působením UV záření.

## 13 Seznam použitých zdrojů

- [1] SIČÁKOVÁ, Alena. Nanotechnologie vo vývoji betónu. TZB portal. [online]. 3.1.2011 [cit. 2017-08-16]. Dostupné z: <http://www.tzbportal.sk/betonbetonarky/nanotechnologie-vo-vyvoji-betonu.html>
- [2] SHEN, Shihui, Maria BURTON, Bertram JOBSON a Liv HASELBACH. Pervious concrete with titanium dioxide as a photocatalyst compound for a greener urban road environment. Construction and Building Materials 35 [online]. 2012, 874-883 [cit. 2017-08-16]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.097. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812002991>
- [3] ZBOŘILOVÁ, Z. Fotokatalytická aktivita hybridních vrstev oxidu titaničitého a křemičitého. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2013. 56 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Dzik, Ph.D. [cit. 2017-08-16] Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp\\_id=62964](https://www.vutbr.cz/studium/zaverecne-prace?zp_id=62964)
- [4] ŠLECHTICKÝ, Luboš. Modifikace silikátových materiálů pro podlahy. Brno, 2013. 46 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc..
- [5] Využití fotokatalytického jevu  $\text{TiO}_2$ . TZB info [online]. Praha: Státní zdravotní ústav Praha, 2015 [cit. 2017-09-07]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/13481-vyuziti-fotokatalytickeho-jevu-tio2>
- [6] Minerální pigmenty a barviva. Nerostné suroviny a jejich využití [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, 2007 [cit. 2017-09-14]. Dostupné z: [http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/pigmenty\\_barviva.html](http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/pigmenty_barviva.html)
- [7] Barvení betonu. Mct - beton a betonové výrobky [online]. 2015 [cit. 2017-09-14]. Dostupné z: <https://www.mct.cz/soubor/barveni-betonovych-vyrobku/>
- [8] BEELDENS, Anne. An environmental friendly solution for air purification and self-cleaning effect: the application of  $\text{TiO}_2$  as photocatalyst in concrete. In: Research Gate [online]. [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/228892841\\_An\\_environmental\\_friendly\\_solution\\_for\\_air\\_purification\\_and\\_selfcleaning\\_effect\\_the\\_application\\_of\\_TiO2\\_as\\_photocatalyst\\_in\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/228892841_An_environmental_friendly_solution_for_air_purification_and_selfcleaning_effect_the_application_of_TiO2_as_photocatalyst_in_concrete)

- [9] ČSN EN 13892 – 8 Zkušební metody potěrových materiálů – Stanovení přidržnosti, ČNI 2003
- [10] HLAWITZKA, Jakub .Studium účinnosti polymerní přísady EVA v závislosti na ošetrovacích podmínkách malty. Brno, 2016. 67 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
- [11] HAIDER, Adawiya J., Riyad Hassan AL– ANBARI, Ghadah Rasim KADHIM a Chafic Touma SALAME. Exploring potential Environmental applications of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. Energy Procedia [online]. Elsevier, 2017, 2017(119), 332-345 [cit. 2017-12-17]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.117>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217326711>
- [12] MIAO, Jing, Rui ZHANG a Ling ZHANG. Photocatalytic degradations of three dyes with different chemical structures using ball-milled TiO<sub>2</sub>. Materials Research Bulletin [online]. Elsevier, 2018, 2018(97), 109-114 [cit. 2017-12-17]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.08.032>. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025540817304464>
- [13] Výzkum a praktické využití heterogenní fotokatalýzy. In: Vesmír [online]. Jaromír Jirkovský, 2017 [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2017/cislo-5/vyzkum-prakticke-vyuziti-heterogenni-fotokatalyzy.html>
- [14] Beton: technologie - konstrukce - sanace. Praha: Česká betonářská společnost, 2/2005. ISSN 1213-3116
- [15] GAJDOŠ, Jan. Speciální povrchové úpravy architektonických betonů. Brno, 2013. 77 s. 9 s. příl., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc..
- [16] Vymývací papír. In: Remei CZ [online]. [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.remei.cz/vym%C3%BDvaci-papir-46.html>
- [17] Technologie pro lepší beton. In: Schomburg [online]. [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: [https://www.schomburg.com/cz/cs/slozky/technologie-pro-lepsi-beton/Prosp\\_Betontechnik\\_CZ\\_0810.pdf](https://www.schomburg.com/cz/cs/slozky/technologie-pro-lepsi-beton/Prosp_Betontechnik_CZ_0810.pdf)

- [18] Dekorativní beton s přírodním nádechem. In: *IMateriályinfo* [online]. 27. 5. 2012 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://imaterialyinfo.dumabyt.cz/dekorativni-beton-s-prirodnim-nadechem-36924/novinky.html>
- [19] ZDRAŽIL, Marek. NOEplast-matrice pro pohledový beton. In: Stavebnictví 3000 [online]. 27. 7. 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/img/articles/1024x800-fit/2015/07d-isd-noe-8.jpg>
- [20] Art Roller, Horizontal. In: The Ceramic shop [online]. [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.theceramicshop.com/product/11978/Art-Roller%2C-Horizontal/>
- [21] DOHNÁLEK, Jiří. Posuzování vlivu trhlin na vzhled povrchových úprav betonu a železobetonu. In: TZBinfo [online]. Betonconsult Praha, 10.3.2014 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10939-posuzovani-vlivu-trhlin-na-vzhled-povrchovych-uprav-betonu-a-zelezobetonu>

## 14 Seznam příloh

### 14.1 Seznam grafů

<i>Graf 1: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti referenčního vzorku .....</i>	<i>53</i>
<i>Graf 2: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti červeného vzorku B .....</i>	<i>53</i>
<i>Graf 3: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti žlutého vzorku C .....</i>	<i>54</i>
<i>Graf 4: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti černého vzorku D.....</i>	<i>54</i>
<i>Graf 5: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti vzorku E s 1% TiO<sub>2</sub> .....</i>	<i>55</i>
<i>Graf 6: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti vzorku E s 5% TiO<sub>2</sub> .....</i>	<i>55</i>
<i>Graf 7: Srovnání dosažených hodnot přídržnosti vzorku E s 10% TiO<sub>2</sub> .....</i>	<i>56</i>
<i>Graf 8: Záznam průběhu koncentrací NO<sub>x</sub> a NO<sub>2</sub> během experimentu se vzorkem E s obsahem 1% TiO<sub>2</sub>.....</i>	<i>59</i>
<i>Graf 9: Záznam průběhu koncentrací NO<sub>x</sub> a NO<sub>2</sub> během experimentu se vzorkem E s obsahem 5% TiO<sub>2</sub> .....</i>	<i>60</i>
<i>Graf 10: Záznam průběhu koncentrací NO<sub>x</sub> a NO<sub>2</sub> během experimentu se vzorkem E s obsahem 10% TiO<sub>2</sub> .....</i>	<i>60</i>
<i>Graf 11: Grafické zobrazení výsledných barevných odchylek DE* .....</i>	<i>63</i>
<i>Graf 12: Grafické zobrazení barevných odchylek impregnovaného a zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Kružnice vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný. ....</i>	<i>67</i>
<i>Graf 13: Grafické zobrazení barevných odchylek impregnovaného a zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Elipsa vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný. ....</i>	<i>68</i>
<i>Graf 14: Grafické zobrazení barevných odchylek impregnovaného a zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Elipsa vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný. ....</i>	<i>69</i>
<i>Graf 15: Grafické zobrazení barevných odchylek impregnovaného a zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Kružnice vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný. ....</i>	<i>70</i>
<i>Graf 16: Grafické zobrazení barevných odchylek zmrazovaného vzorku od nijak neupravovaného vzorku. Kružnice vyjadřuje toleranci, kdy se ještě vzorek uvažuje jako barevně srovnatelný. ....</i>	<i>71</i>

## 14.2 Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: anatas (a), brookit (b), rutil (c) [5].....</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 2: Schéma fotokatalytické degradace organických látek na polovodičové částici působením ultrafialového záření. [13] .....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 3: Princip rozkladu organických částic za pomoci <math>TiO_2</math> a slunečního záření .</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 4: Vliv doby mletí na fotokatalytickou účinnost <math>TiO_2</math>. <math>TiO_2(A)</math> je neupravený prášek, ostatní vzorky byly domílány po dobu 2, 4, 8, 12 a 24 hodin. [12].....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 5: Úprava povrchu cementové matrice vymýváním [18] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 6: Obtisk reliéfní matrice do povrchu betonu [19] .....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 7: Příklad válcové reliéfní raznice pro tvorbu žebrovaného povrchu [20] .....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 8: Navážená cementová stěrka s dávkou pigmentu .....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 9: Elektrické míchadlo pro přípravu malt (vlevo) a odřezky betonových dlažeb pro nanášení modifikovaných cementových stěrek (vpravo) .....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 10: Modifikovaná cementová stěrka v čerstvém (vlevo) a v zatvrdlém stavu (vpravo).....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 11: Odrhový přístroj DYNA .....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 12: Barevný prostor CIELab, osa a a b zobrazuje odstín, vzdálenost od středu vyjadřuje sytost odstínu a hodnota L vyjadřuje světlost/tmavost odstínu. ....</i>	<i>66</i>

## 14.3 Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Receptury záměsí.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 2: Stupnice světlostalosti pro reálný test .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 3: Označení vzorků .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 4: Výsledky měření přídržnosti u vzorků uložených v laboratoři .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 5: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabulka 6: Výsledky měření přídržnosti u vzorků vystavených povětrnostním vlivům po dobu 3 měsíců .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 7: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti .....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka 8: Výsledky měření přídržnosti u vzorků uložených v laboratoři a podrobených 50-ti zmrazovacím cyklům .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabulka 9: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 10: Výsledky měření přídržnosti u vzorků vystavených povětrnostním vlivům po dobu 3 měsíců a podrobených 50-ti zmrazovacím cyklům .....</i>	<i>47</i>



<i>Tabulka 11: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti ...</i>	<i>48</i>
<i>Tabulka 12: Výsledky měření přídržnosti vzorků vystavených povětrnostním vlivům po dobu 3 měsíců, opatřených impregnačním nátěrem a vystavených 50-ti zmrazovacím cyklům .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 13: Znázornění místa porušení jednotlivých vzorků při zkoušce přídržnosti ...</i>	<i>51</i>
<i>Tabulka 14: Vizualní porovnání vzorků na začátku a po 26 hodinách testování proměření barevné difference .....</i>	<i>56</i>
<i>Tabulka 15: Výsledky proměření barevné difference referenčního vzorku a vzorku s obsahem 1%, 5% a 10% TiO<sub>2</sub> .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 16: Vyhodnocení experimentu stanovení fotokatalytické účinnosti – schopnost konverze NO<sub>x</sub>.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabulka 17 Naměřené hodnoty v QUV panelu: .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabulka 18: Výsledné hodnoty barevných odchylek DE*.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabulka 19: Vizualní porovnání vzorků před a po expozici v QUV panelu .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka 20: Hodnoty barevných odchylek na ose a, b a L impregnovaného, zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku. ....</i>	<i>65</i>
<i>Tabulka 21 Hodnoty barevných odchylek na ose a, b a L impregnovaného, zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku.:.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabulka 22: Hodnoty barevných odchylek na ose a, b a L impregnovaného, zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku. ....</i>	<i>67</i>
<i>Tabulka 23: Hodnoty barevných odchylek na ose a, b a L impregnovaného, zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku. ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabulka 24: Hodnoty barevných odchylek na ose a, b a L zmrazovaného a nijak neupravovaného vzorku. ....</i>	<i>69</i>

# Příloha č. 1 - technický list cementové stěrky Mapegrout

430

## Prohlášení o vlastnostech: č. CPR-IT1/0187

1. Jedinečný identifikační kód typu výrobku: **MAPEGROUT 430**
2. Typ, série nebo sériové číslo nebo jakýkoli jiný prvek umožňující identifikaci stavebních výrobků podle CPR čl. 11 (4):

### HYDRAULICKÁ MALTA NA BÁZI HYDRAULICKÉHO CEMENTU – (R3-CC)

3. Zamýšlené použití nebo zamýšlená použití stavebního výrobku v souladu s příslušnou harmonizovanou technickou specifikací podle předpokladu výrobce:

### Pro opravy betonu se statickou funkcí v budovách a inženýrských stavbách

4. Jméno, firma nebo registrovaná obchodní známka a kontaktní adresa výrobce podle čl. 11 odst. 5: **MAPEI S.p.A. – Via Cafiero, 22 – Milán (Itálie)** [www.mapei.it](http://www.mapei.it)
5. Případné jméno a kontaktní adresa zplnomocněného zástupce, jehož plná moc se vztahuje na úkoly uvedené v čl. 12 odst. 2: **Neuvedeno**
6. Systém nebo systémy posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebních výrobků, jak je uvedeno v příloze V:  
**System 2+  
System 4 pro reakci na oheň**
7. V případě prohlášení o vlastnostech týkajících se stavebního výrobku, na který se vztahuje harmonizovaná norma:  
**Autorizovaná zkušební laboratoř ICMQ S.p.A., č. 1305, provedla počáteční kontrolu výrobního závodu a kontroly výroby a trvalý dohled, zhodnocení a posouzení výstupní kontroly výroby podle systému 2+ a vydala certifikát o shodě s výstupní kontrolou výroby č. 1305-CPD-0615 a 1305-CPD-0616.**
8. V případě prohlášení o vlastnostech týkajících se stavebního výrobku, pro který bylo vydáno evropské technické posouzení (ETA): **Nestanoveno**

## 9. Deklarované vlastnosti

Základní charakteristiky	Vlastnost	Harmonizované technické specifikace
<b>Pevnost v tlaku:</b> <b>Obsah chloridových iontů:</b> <b>Soudržnost:</b> <b>Odolnost proti karbonataci:</b> <b>Modul pružnosti:</b> <b>Tepelná slučitelnost:</b> - Zmrazování a tání: - Náporové skrápění: - Cyklování za sucha: <b>Kapilární absorpce:</b> <b>Nebezpečné látky:</b> <b>Reakce na oheň:</b>	<b>Třída R3</b> <b>≤ 0,05%</b> <b>≥ 1,5 MPa</b> <b>Vyhovuje</b> <b>≥ 15 GPa</b>  <b>≥ 1,5 MPa</b> <b>≥ 1,5 MPa</b> <b>≥ 1,5 MPa</b> <b>≤ 0,5 kg·m<sup>-2</sup>·h<sup>-0,5</sup></b> <b>viz Bezpečnostní list</b> <b>Třída A1</b>	<b>EN 1504-3:2005</b>

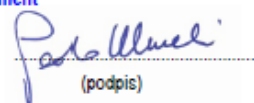
10. Vlastnost výrobku uvedená v bodě 1 a 2 je ve shodě s vlastností uvedenou v bodě 9.  
Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodě 4.

Podepsáno za výrobce jménem: **Paolo Murelli – Corporate Quality Management**

(jméno a funkce)



**Miláno, 23/06/2014**

(místo a datum vydání)

  
(podpis)

[IT1/0187.1/CZ]

OZNAČENÍ CE dle CPR 305/2011 a EN 1504-3:2005

 1305	 Via Cafiero, 22 – 2158 Miláno (Itálie) www.mapei.it																								
<div data-bbox="774 459 933 555"> 10  CPR-IT1/0187  EN 1504-3:2005  MAPEGROUT 430 </div> <p>Malta typu CC (na bázi hydraulického cementu) na opravy betonu se statickou funkcí</p> <table border="0"> <tr> <td>Pevnost v tlaku:</td><td>Třída R3</td></tr> <tr> <td>Obsah chloridových iontů:</td><td>≤ 0,05%</td></tr> <tr> <td>Soudržnost:</td><td>≥ 1,5 MPa</td></tr> <tr> <td>Odolnost proti karbonataci:</td><td>Vyhovuje</td></tr> <tr> <td>Modul pružnosti:</td><td>≥ 15 GPa</td></tr> <tr> <td>Tepelná slučitelnost:</td><td></td></tr> <tr> <td>- Zmrzování a tání:</td><td>≥ 1,5 MPa</td></tr> <tr> <td>- Náporové skrápění:</td><td>≥ 1,5 MPa</td></tr> <tr> <td>- Cyklování za sucha:</td><td>≥ 1,5 MPa</td></tr> <tr> <td>Kapilární absorpce:</td><td>≤ 0,5 kg*m-2*h-0,5</td></tr> <tr> <td>Nebezpečné látky:</td><td>viz Bezpečnostní list</td></tr> <tr> <td>Reakce na oheň:</td><td>Třída A1</td></tr> </table>		Pevnost v tlaku:	Třída R3	Obsah chloridových iontů:	≤ 0,05%	Soudržnost:	≥ 1,5 MPa	Odolnost proti karbonataci:	Vyhovuje	Modul pružnosti:	≥ 15 GPa	Tepelná slučitelnost:		- Zmrzování a tání:	≥ 1,5 MPa	- Náporové skrápění:	≥ 1,5 MPa	- Cyklování za sucha:	≥ 1,5 MPa	Kapilární absorpce:	≤ 0,5 kg*m-2*h-0,5	Nebezpečné látky:	viz Bezpečnostní list	Reakce na oheň:	Třída A1
Pevnost v tlaku:	Třída R3																								
Obsah chloridových iontů:	≤ 0,05%																								
Soudržnost:	≥ 1,5 MPa																								
Odolnost proti karbonataci:	Vyhovuje																								
Modul pružnosti:	≥ 15 GPa																								
Tepelná slučitelnost:																									
- Zmrzování a tání:	≥ 1,5 MPa																								
- Náporové skrápění:	≥ 1,5 MPa																								
- Cyklování za sucha:	≥ 1,5 MPa																								
Kapilární absorpce:	≤ 0,5 kg*m-2*h-0,5																								
Nebezpečné látky:	viz Bezpečnostní list																								
Reakce na oheň:	Třída A1																								

[IT1/0187.1/CZ]

## Příloha č. 2 - technické listy pigmentů firmy Precheza

TP303\_218230\_cs

### Osvědčení jakosti

Precheza a.s.,  
nábr.Dr.Edvarda Beneše 1170/24  
Přerov I - Město  
750 02 Přerov  
Czech Republic

Materiál:FEPREN TP303

Tento výrobek byl vyroben v souladu s dokumentací relevantního systému jakosti a byl monitorován v každé výrobní fázi.

Šarže: 218230 / VZOREK

Atribut	Hodnota	Jednotka	Specifikace
Obsah Fe2O3	99,14	%	min. 97,50
Těkavé látky při 105°C	0,15	%	max. 0,40
Měrná vodivost	390	SS/cm	max. 500
Zbytek A na síť 45 šm	0,01	%	max. 0,04
Vodorozpustné látky	0,140	%	max. 0,500
pH vodného výluhu	6,1	Bez	4,5 - 7,0
Barevná souřadnice L*	49,40	Bez	49,41 +/- 1,3
Barevná souřadnice a*	16,35	Bez	16,76 +/- 1,3
Barevná souřadnice b*	6,29	Bez	6,39 +/- 1,3
Delta proti standardu	0,24	Bez	max. 1,30

COV 3013; číslo certifikátu: 3013V-09-0048  
Výrobek odpovídá ČSN EN 12878:2005 Pigmenty  
pro vybarvování stavebních materiálů na bázi cementu  
a/nebo vápna - Specifikace a zkušební postupy, kategorie A.

Doba tuhnutí	Vyhovuje
Pevnost v tlaku	Vyhovuje
Rozpustné chloridy	Vyhovuje
Celkový chlor	Vyhovuje
Ztráta žíháním	Vyhovuje
Nebezpečné látky	Vyhovuje

Celkem počet listů: 1

Vyrobeno: PRECHEZA, a.s.  
Vystavil: Jana Koutná  
Za správnost dat odpovídá: Ing. Zdeněk Konvička  
Za přezkoumání a schválení dat odpovídá: Ing. Michal Ondráček

Y710\_218120\_cs

Osvědčení jakosti

Precheza a.s.,  
nábr.Dr.Edvarda Beneše 1170/24  
Přerov I - Město  
750 02 Přerov  
Czech Republic

Materiál: FEPREN Y-710 15 kg

Tento výrobek byl vyroben v souladu s dokumentací relevantního systému jakosti a byl monitorován v každé výrobní fázi.

Šarže: 218120 VZOREK

Atribut	Hodnota	Jednotka	Specifikace
Obsah Fe2O3	88,98	%	min. 86,50
Těkavé látky při 105°C	0,50	%	max. 1,20
Měrná vodivost	280	§S/cm	max. 500
Zbytek A na síť 45 §m	0,01	%	max. 0,25
Vodorozpustné látky	0,180	%	max. 0,350
pH vodného výluhu	4,0	Bez	min. 3,3
Barevná souřadnice L*	68,15	Bez	67,49 - 69,89
Barevná souřadnice a*	10,45	Bez	9,82 - 11,82
Barevná souřadnice b*	29,59	Bez	min. 27,40

COV 3013; číslo certifikátu: 3013V-09-0049  
výrobek odpovídá ČSN EN 12878:2005 Pigmenty  
pro vybarvování stavebních materiálů na bázi cementu  
a/nebo vápna - Specifikace a zkušební postupy, kategorie A.

Doba tuhnutí	Vyhovuje
Pevnost v tlaku	Vyhovuje
Rozpustné chloridy	Vyhovuje
Celkový chlor	Vyhovuje
Ztráta žíháním	Vyhovuje
Nebezpečné látky	Vyhovuje

Celkem počet listů: 1

Vystavil: Jana Koutná  
Za správnost dat odpovídá: Ing. Zdeněk Konvička  
Za přezkoumání a schválení dat odpovídá: ONDRÁČEK Michal Ing.



B630\_217880\_cs

Osvědčení jakosti

Precheza a.s.  
nábr. Dr. Edvarda Beneše 1170/24  
Přerov I - Město  
750 02 Přerov

Materiál:  
10559 Železitá čern FEPREN B-630

Tento výrobek byl vyroben v souladu s dokumentací relevantního systému jakosti a byl monitorován v každé výrobní fázi.

Šarže: 217880 VZOREK

Atribut	Hodnota	Jednotka	Specifikace
Obsah Fe2O3	93,82	%	min. 90,00
Těkavé látky při 105°C	0,95	%	max. 1,90
Měrná vodivost	190	μS/cm	max. 900
Zbytek A na síť 45 μm	0,02	%	max. 0,20
pH vodného výluhu	6,3	Bez	4,0 - 9,0
Spotřeba oleje	17,2	g/100g	max. 21,0
Dispergovatelnost	30	μm	max. 60
Barevná souřadnice L*	49,52	Bez	48,54 - 51,54
Barevná souřadnice a*	-0,60	Bez	-1,80 - 1,20
Barevná souřadnice b*	-5,18	Bez	-6,07 - -3,07
DEcmc proti standardu	0,81	Bez	max. 1,50

Celkem počet listů: 1

Vystavila: Jana Koutná  
Za správnost dat odpovídá: Ing. Zdeněk Konvička

PK20A\_138689\_en

Quality certificate

Precheza a.s.,  
nábřeží Dr. E. Beneše 1170/24  
701 02 Přerov  
Czech Republic

Material: PRETIOX PK20A

This product was produced in accordance with the guidelines of relevant quality management system and monitored in every manufacturing stage.


Batch: 138689 SAMPLE

Characteristic	Value	Unit	Specification
TiO <sub>2</sub> content	96,6	%	min. 92,0
Specific surface area	98,5	m <sup>2</sup> /g	70 - 110
Loss on ignition at 800°C	3,4	%	max. 8,0
Sulphur (S) content	2,0	%	max. 1,6

Total number of pages: 1

Issued by: Jana Koutná  
Responsible for the data validity: Ing. Zdeněk Konvička

## Příloha č. 3 - technický list uzavíracího nátěru Sika

Construction	<b>Technický list</b> Datum vydání: 03/2016 Identifikační č.: 02 03 03 01 001 0 000001 Sikagard®-700 S	
	<b>Sikagard®-700 S</b> Vodoodpudivá impregnace na bázi siloxanu	
	<b>Popis výrobku</b>	Sikagard®-700 S je 1komponentní vodoodpudivá impregnace pro savé cementové podklady, výborně proniká do otevřených pórů podkladu, což zajišťuje dlouhodobou odolnost vůči vodě, přesto však je nátěr propustný pro vodní páru v obou směrech. Sikagard®-700 S splňuje požadavky normy EN 1504-2 pro hydrofobní impregnaci (hloubka průniku – třída I):
	<b>Použití</b>	Sikagard®-700 S se používá jako vodoodpudivá bezbarvá ochrana povrchu pro ošetření nasákavých materiálů jako jsou beton, vláknocement, omítky, prefabrikáty, cihelné zdivo (hliněné a vápenné cihly, neglazované cihly), přírodní kámen atd. Sikagard®-700 S může být použit jako hydrofobní penetrace pod nátěry na rozpouštědlové bázi nebo na bázi emulzí. Sikagard®-700 S může být použit jako hydrofobní impregnace na savé podklady, jako je beton ve stavebnictví nebo pro stavební betonové konstrukce. ✓ vhodný na ochranu proti vnikání (Zásada 1, metoda 1.1 normy EN 1504-9) ✓ vhodný na ovlivnění vlhkosti (Zásada 2, metoda 2.1 normy EN 1504-9) ✓ vhodný pro zvýšení odporu (Zásada 8, metoda 8.1 normy EN 1504-9)
	<b>Vlastnosti / výhody</b>	■ snižuje kapilární nasákavost ■ snižuje tvorbu výkvětů ■ zabráňuje vnikání nečistot do pórů podkladu ■ zlepšuje tepelnou izolaci ■ může být přetírán jinými nátěry na rozpouštědlové bázi a disperzními nátěry ■ vyšší životnost a odolnost než běžné prostředky na silikonové bázi ■ snižuje pronikání chloridových iontů a jejich pohybu ■ nemá vliv na propustnost vodních par ■ nemá vliv na vzhled podkladu
	<b>Zkušební zprávy</b>	Systém ochrany povrchu betonu (hydrofobní impregnace) podle EN 1504-2:2004, vydáno Prohlášení o vlastnostech č. 02 03 03 01 001 0 000001 1010, certifikováno Oznámeným subjektem č.0921 QDB, certifikát č. 2073 a označeno CE značkou. Test LPM – klasifikační zkouška podle SIA 162/5, Report A-13719-2 z 04/1993 – absorpce vody, hloubka penetrace, odolnost vůči alkáliím, koeficient difuze vodní páry. Splňuje požadavky EN 1504-2 třída I – MPL ITC Zlín – protokol č. 412502433/01 vydaný dne 3.2.2016 – odolnost vůči CHRL
	<b>Údaje o výrobku</b>	
<b>Vzhled / Barva</b>	Bezbarvá kapalina.	
<b>Balení</b>	20 l, 194 l Další balení na vyžádání.	
<b>Skladování</b>		
	<div>Sika CZ, s.r.o. Benešova 1122/20 102 004 01 Praha</div> <div>tel: +420 244 427 444 fax: +420 244 427 440 e-mail: sika@cs.sika.cz http://www.sika.cz</div>	<div>1</div> <div>Sikagard®-700 S 1/3</div>



<b>Podmínky skladování / Trvanlivost</b>	12 měsíců od data výroby v neporušeném, neotevřeném a originálním balení v suchu a na chladném a suchém místě při maximální teplotě +20 °C. Chraňte před přímým slunečním zářením.
--	---

#### Technická data

<b>Chemická báze</b>	Kombinace silanu a siloxanu v organickém rozpouštědle.
<b>Objemová hmotnost</b>	~ 0,800 kg/l (při teplotě +20 °C)
<b>Bod vzplanutí</b>	~ 36 - 40 °C

#### Informace o systému

<b>Skladba systému</b>	1 - 2 x Sikagard®-700 S
------------------------	-------------------------

#### Aplikační podrobnosti

<b>Spotřeba</b>	~ 0,3 - 0,5 kg/m <sup>2</sup> (0,375 - 0,625 l/m <sup>2</sup> ) na vrstvu nátěru pro normálně savý podklad. Pro zajištění optimální životnosti je třeba aplikovat minimálně 2 vrstvy nátěru.
<b>Kvalita podkladu</b>	Podklad musí být zbaven nečistot, mastnoty a starých nátěrů. Trhliny větší než 200 µm musí být opraveny vhodným způsobem ještě před aplikací hydrofobního nátěru.
<b>Příprava podkladu</b>	Případné vápenné výkvěty, zbytky solí, barev atd. musí být odstraněny nejlépe tryskáním tlakovou vodou nebo vhodnými čisticími prostředky. Nejlepšího impregnačního účinku je dosaženo na suchém, dobře savém podkladu. Podklad musí být suchý, bez vlhkých míst.

#### Aplikační podmínky / Omezení

<b>Teplota podkladu</b>	+5 °C min. / +30 °C max.
<b>Okolní teplota</b>	+5 °C min. / +30 °C max.
<b>Vlhkost podkladu</b>	< 5 %

#### Aplikace

<b>Míchání</b>	Sikagard®-700 S je připraven ihned k použití, nesmí být ředěn.
<b>Postup aplikace / Nářadí</b>	Sikagard®-700 S nanášejte pomocí nízkotlakého rozprašovače, štětce nebo válečku, směrem zdola nahoru. Zabraňte stékání. Následující vrstvy aplikujte metodou „vlhký do vlhkého“.
<b>Čištění nářadí</b>	Očistěte veškeré použité nářadí ihned po ukončení práce pomocí malého množství lihu. Vytvrzený materiál lze odstranit pouze mechanicky.
<b>Čekací doba / Přetíratelnost</b>	Sikagard®-700 S může být přetírán nátěry na vodní i rozpouštědlové bázi - kontaktujte výrobce nátěrů pro bližší informace. Při použití nátěrů Sikagard®, SikaColor® Emulzion nebo nátěrů na bázi rozpouštědel vyčkejte minimálně 5 hodin po aplikaci hydrofobní impregnace.
<b>Důležitá upozornění</b>	Minimální stáří podkladu (beton, malta) je 28 dní. Nesmí být přetírán vápennými a cementovými nátěry. Pokud jsou vyžadovány přesné požadavky na estetické provedení (např. při použití přírodního kamene), z důvodu možného nepatrného ztmavnutí doporučujeme předem provést test na zkušebním místě. Sikagard®-700 S není vhodný jako izolace proti vodě v místech vystavených působení hydrostatického tlaku a trvalému působení vody.

**Důležitá upozornění  
(pokračování)**

Sikagard®-700 S není určen pro utěsnění velkých trhlin před pronikáním vlhkosti. Prvky (např. hliníkové rámy, okna atd.), které nemají být opatřeny ochranným nátěrem Sikagard®-700 S je třeba zakrýt. V případě potřísnění těchto prvků, ihned očistěte použitím vhodného ředidla.

**Vytvrzující detaily****Ošetřování**

Sikagard®-700 S nevyžaduje žádné zvláštní ošetření během vytvrzování, pouze je třeba povrch chránit před deštěm, minimálně 3 hodiny po aplikaci při teplotě +20 °C.

**Platnost hodnot**

Hodnoty a data uvedená v tomto technickém listu jsou založena na výsledcích laboratorních testů. Tyto hodnoty se mohou při aplikaci v praxi lišit, což je mimo naši kontrolu.

Detailní informace o zdravotní závadnosti a bezpečnosti práce jsou spolu s bezpečnostními informacemi (např. fyzikálními, toxikologickými a ekologickými daty) uvedeny v bezpečnostním listu.

Aktuální technické a bezpečnostní listy, Prohlášení o shodě, Certifikáty najdete na internetové adrese [www.sika.cz](http://www.sika.cz).

**Bezpečnostní předpisy****Ochranná opatření**

- Při zpracování je nutné dodržovat bezpečnostní pokyny, platné předpisy příslušných úřadů o ochraně zdraví při práci.
- Při aplikaci používejte ochranný oděv, brýle a rukavice.
- Podrobnější údaje týkající se hygieny a bezpečnosti práce, ochrany životního prostředí jsou uvedeny v Bezpečnostním listu.
- Odstraňování odpadu - Odpad dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech.
- Odpad odvézt na skládku stavebního odpadu nebo předejte odborné firmě k likvidaci. Fólie je možné recyklovat.

**Místní omezení**

V závislosti na specifických místních omezeních se mohou výsledné vlastnosti tohoto výrobku v různých zemích lišit. Vždy se řiďte informacemi uvedenými v platném Technickém listu.

**Právní dodatek**

Uvedené informace, zvláště rady pro zpracování a použití našich výrobků, jsou založeny na našich znalostech z oblasti vývoje chemických produktů a dlouholetých zkušenostech s aplikací v praxi při standardních podmínkách a řádném skladování a používání. Vzhledem k rozdílným podmínkám při zpracování a dalším vnějším vlivům, k četnosti výrobků, různému charakteru a úpravě podkladů, nemusí být postup na základě uvedených informací, ani jiných psaných či ústních doporučení, vždy zárukou uspokojivého pracovního výsledku. Veškerá doporučení firmy Sika CZ, s.r.o. jsou nezávazná. Aplikátor musí prokázat, že předal písemně včas a úplné informace, které jsou nezbytné k řádnému a úspěšnému zaručujícímu posouzení firmou Sika. Aplikátor musí přezkoušet výrobky, zda jsou vhodné pro plánovaný účel aplikace. Především musí být zohledněna majetková práva třetí strany. Všechny námi přijaté objednávky podléhají našim aktuálním „Všeobecným obchodním a dodacím podmínkám“. Ujistěte se prosím vždy, že postupujete podle nejnovějšího vydání technického listu výrobku. Ten je spolu s dalšími informacemi k dispozici na našem technickém oddělení nebo na [www.sika.cz](http://www.sika.cz).



Sika CZ, s.r.o.  
Bystrcká 1132/36,  
CZ 624 00 Brno

tel: +420 546 422 464  
fax: +420 546 422 400  
e-mail: [sika@cz.sika.com](mailto:sika@cz.sika.com)  
<http://www.sika.cz>

